

Arqueologia Urbana e Ambientes Virtuais: Um Sistema para Bracara Augusta

Paulo José Correia Bernardes

Universidade do Minho - Instituto de Ciências Sociais

Dissertação submetida à Universidade do Minho
para a obtenção do grau de mestre em Arqueologia

Orientadores:

Professora Doutora Maria Manuela Martins (UM)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dr. E.h. J. L. Encarnação (TUD)

Braga, Janeiro 2002

Agradecimentos

À Professora Doutora Maria Manuela Martins, que desde o primeiro momento acreditou em mim e me incentivou para a realização deste trabalho, a minha sincera gratidão. Para além de professora exigente e orientadora atenta, foi para mim, acima de tudo, uma grande Amiga com a qual eu sei que posso sempre contar.

Ao Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dr. E.h. José Luis Encarnação muito agradeço e estimo os conselhos sábios que me transmitiu e a confiança que depositou em mim. A sua visão esclarecida acerca do futuro da Computação Gráfica, foi, e será, para mim uma constante inspiração e motivo de grande admiração pessoal.

A todos os professores do curso de mestrado agradeço os preciosos ensinamentos que me transmitiram, com os quais pude perceber melhor o discurso próprio de quem convive com o património arqueológico.

Aos meus colegas da Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho agradeço a camaradagem, a amizade e apoio. A sua visão crítica e construtiva foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

A toda a equipa que trabalha comigo no Laboratório de Multimédia da UAUM agradeço a amizade e a dedicação, sem as quais este trabalho não teria sido possível.

A todos os meus Amigos, que tiveram a paciência de fazer uma leitura atenta e crítica deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

Por fim, à minha família, em particular à minha esposa, agradeço o amor, carinho e incentivo que foram fundamentais para me ajudar a ultrapassar os momentos mais difíceis.

English Abstract

Computer Graphics is undoubtedly an important tool, widely used for representing and manipulating enormous amounts of high complex information. Usually, the archaeological information is highly complex, so its representation using computer graphics technology is a true and engaging challenge.

The development of virtual environments representing archaeological sites, as for example the roman town Bracara Augusta, can be considered a fundamental tool for the research improvement carried out by experts and extremely important for the uprising of cultural heritage consciousness.

Resumo em Português

A computação gráfica é, seguramente, uma ferramenta importante, e crescentemente utilizada, para representar e manipular grandes quantidades de informação de elevada complexidade. Por sua vez a arqueologia, de uma forma geral, possui um manancial de informação de grande complexidade, pelo que a sua representação utilizando as tecnologias da computação gráfica constitui um elevado e aliciente desafio.

O desenvolvimento de ambientes virtuais que representam arqueossítios, como, por exemplo, a cidade romana de Bracara Augusta, deve ser considerado uma ferramenta importante e fundamental para o melhoramento da investigação levada a cabo por peritos (arqueólogos, arquitectos e especialistas em urbanismo) e para o despertar das consciências relativamente à importância da herança cultural.

Conteúdo

1	Introdução	11
1.1	Motivação	12
1.2	Objectivos	13
1.3	Trabalho Desenvolvido	14
1.4	Resumo dos Capítulos	15
2	Arqueologia Urbana	17
2.1	Introdução	17
2.2	Origem e Evolução da Arqueologia Urbana	18
2.3	Arqueologia Urbana em Braga	21
3	A Informática aplicada à Arqueologia	25
3.1	Introdução	25
3.2	Desenho e Projecto Assistido por Computador	27
3.2.1	Conceito e Características	27
3.2.2	Aplicação à Arqueologia	29
3.3	Sistemas de Bases de Dados	30
3.3.1	Conceito e Características	30

3.3.2	Aplicação à Arqueologia	32
3.4	Sistemas de Informação Geográfica	33
3.4.1	Conceito e Características	33
3.4.2	Aplicação à Arqueologia	35
3.5	Computação Gráfica, Multimédia e Ambientes Virtuais	36
3.5.1	Conceitos e Características	36
3.5.2	Aplicação à Arqueologia	40
4	Estado da Arte dos Ambientes Virtuais	43
4.1	Introdução	43
4.2	Tecnologias Associadas	45
4.3	Áreas de Aplicação	49
4.3.1	Arquitectura e Planeamento Urbano	49
4.3.2	Medicina	50
4.3.3	Visualização Científica	51
4.3.4	Formação e Treino	51
4.4	Os Ambientes Virtuais na Arqueologia	52
5	Projecto da Arquitectura do Sistema	57
5.1	Introdução	57
5.2	Definição do Objecto	58
5.3	Definição do Problema	60
5.3.1	Validação	61
5.3.2	Divulgação	61
5.4	Definição dos Objectivos	62
5.4.1	Validação	62

CONTEÚDO	7
5.4.2 Divulgação	63
5.5 Arquitectura do Sistema	63
5.5.1 Sistema de Ambientes Virtuais Nuclear	65
5.5.2 Módulo de Visualização	65
5.5.3 Módulo de Navegação	65
5.5.4 Módulo de Interacção	65
5.5.5 Base de Dados de Objectos 3D	68
6 O Caso de Bracara Augusta	69
6.1 Análise de Dados	71
6.2 Desenvolvimento dos Modelos Virtuais	72
6.2.1 Estruturas Arquitectónicas e Infra-estruturas	73
6.2.2 Terreno Envolvente	78
6.3 Integração da Informação	83
6.4 Modelo de Iluminação	84
6.5 Visualização do Modelo Virtual	86
7 Viagem Virtual por Bracara Augusta	89
7.1 As Termas Públicas	89
7.2 A Casa das Carvalheiras	93
8 Conclusões e Trabalho Futuro	97
Bibliogra...a	101

Lista de Figuras

3.1	Modelo Simplificado do Processo de Projecto	28
3.2	Modelação da Realidade	29
3.3	Modelo simplificado do Sistema de Base de Dados	31
3.4	Sobreposição simples de Mapas num SIG	34
3.5	Computação Gráfica, Multimédia e Ambientes Virtuais	39
3.6	Reconstituição Virtual do Mosteiro de Sta. Clara-a-Velha: o Claustro	41
4.1	Dispositivos de Visualização	46
4.2	Dispositivos de Interacção	48
5.1	Localização de Bracara Augusta	59
5.2	Localização das Termas e da Casa das Carvalheiras	60
5.3	Arquitectura do Sistema	64
5.4	Módulo de Interacção	66
6.1	Metodologia aplicada na restituição de Bracara Augusta	70
6.2	Metodologia utilizada na reconstrução tridimensional	73
6.3	Representação dos Pavimentos de Circulação à Cota Exacta	74
6.4	Representação das Estruturas de um edifício	75
6.5	Representação de Aberturas nas Paredes Interiores e Exteriores	75

6.6	Representação do Modelo Completo de um Edifício Romano	76
6.7	Metodologia para a reconstituição do Terreno	79
6.8	Curvas de Nível do Terreno de Bracara Augusta com base na Cartogra...a do Séc. XIX	80
6.9	Curvas de Nível à Cota Respectiva	81
6.10	Modelo do Terreno de Bracara Augusta	82
6.11	Simpli...cação do Modelo do Terreno de Bracara Augusta	82
6.12	Aspecto Final do Modelo do Terreno de Bracara Augusta	83
6.13	Integração da Informação	83
6.14	Reconstrução Global de Bracara Augusta	84
6.15	Iluminação Global do Espaço	85
7.1	Entrada das Termas Públicas	90
7.2	Apoditério e Piscina de Água Fria	90
7.3	Sala de Massagens	91
7.4	Tepidário	91
7.5	Pré-furnio	92
7.6	Circulação de Ar Quente	92
7.7	Área de Serviços	93
7.8	Entrada Sul da Casa das Carvalheiras	93
7.9	Átrio Aberto	94
7.10	Peristilo	94
7.11	Sala de Jantar	95
7.12	Termopólio das Carvalheiras	95
7.13	Evolução do Espaço ao longo do Tempo	96

Capítulo 1

Introdução

Nos últimos anos tem-se vindo a assistir a uma progressiva utilização da Computação Gráfica tridimensional (3D), particularmente dos sistemas de ambientes virtuais, na representação de dados arqueológicos [Barcelo 00]. A Arqueologia, de uma forma geral, possui um manancial de informação de grande complexidade, pelo que a sua representação, utilizando as tecnologias da Computação Gráfica 3D, constitui um elevado e aliciante desafio. Apesar da sua indiscutível importância para a Arqueologia, nem sempre estes trabalhos têm servido a Arqueologia, mas mais a Computação Gráfica, que assim pode testar e validar os diferentes algoritmos desenvolvidos no âmbito da modelação, visualização e navegação em mundos virtuais.

De facto, muitos sistemas relacionados com a reconstrução de sítios arqueológicos, e que hoje em dia se podem encontrar na World Wide Web, têm uma aparência extremamente realista. Em muitos casos será até exageradamente realista, tendo em conta que a sua reconstituição se baseia em dados muito incompletos.

No entanto, este cenário tem vindo a sofrer algumas alterações, principalmente a partir do momento em que os especialistas em informática começaram a ter um diálogo mais construtivo com os peritos ligados ao estudo do património arqueológico, ou até, em alguns casos, uma formação complementar na área da Arqueologia.

Tal como é referido em [Martins 00e], a adopção de novas tecnologias na Arqueologia, e

particularmente na Arqueologia Urbana, para ajudar a investigação, a gestão e a apresentação do passado, é uma consequência natural que resulta da necessidade de gerir enormes quantidades de dados arqueológicos e, também, da evolução rápida das novas tecnologias, cada vez mais adaptáveis ao processamento de informação arqueológica.

O desenvolvimento de ambientes virtuais que representam arqueosítios, como, por exemplo, a cidade romana de Bracara Augusta, deve ser considerado uma ferramenta importante e poderosa para o melhoramento da investigação levada a cabo por especialistas (arqueólogos, arquitectos, urbanistas) e para o despertar das consciências relativamente à importância da herança cultural.

1.1 Motivação

Em Arqueologia, os vestígios existentes acerca de uma estrutura podem ser apenas alguns fragmentos de muros, alicerces, pilares ou colunas extremamente danificados pela acção do Homem ao longo dos anos. Um edifício ou infra-estrutura pode ter sido alterado ou reconstruído diversas vezes, introduzindo modificações significativas tanto na sua aparência como na sua funcionalidade. Daqui se pode inferir que uma grande necessidade dos arqueólogos consiste em utilizar uma ferramenta capaz de representar, para um determinado arqueosítio, interpretações alternativas, bem como mudanças ao longo do tempo.

Os mais de 20 anos de escavação em Braga produziram uma imensa quantidade de informação, apenas entendida por especialistas, que produzem um discurso muito próprio o qual, devido à sua especificidade, nem sempre é correctamente apreendido pelo público.

Mas, para sensibilizar a população para os problemas e dificuldades que a Arqueologia Urbana enfrenta, particularmente em Braga, e para contribuir, no que diz respeito a Bracara Augusta, para a democratização do saber, é necessário simplificar o discurso arqueológico.

Esta tarefa reveste-se de alguma complexidade, pois obriga o arqueólogo a fazer uma desconstrução do conhecimento que tem acerca de cada sítio intervencionado. A desconstrução é comparável a um processo, que tem como parâmetros de entrada o conheci-

mento arqueológico e como valores de saída pequenos módulos desse conhecimento. Depois do processo de desconstrução estar concluído, começa a nova construção do conhecimento a partir dessa informação, mas desta vez orientada a um público-alvo mais alargado.

Esta nova construção, independentemente do suporte de divulgação utilizado, tem de estar sempre a cargo de uma equipa pluri-disciplinar, que no caso de Bracara Augusta é constituída por arqueólogos, arquitectos e especialistas em Sistemas de Informação e Computação Gráfica.

Mas, para que uma equipa com as características da anterior seja formada, é fundamental que os especialistas das novas tecnologias de informação entendam o discurso dos peritos da área da Herança Cultural.

Assim, este trabalho não procurará desenvolver ou otimizar as tecnologias existentes da Computação Gráfica, mas antes entender o discurso dos arqueólogos e traduzir esse discurso para a linguagem própria da Computação Gráfica. Só desta forma se pode assegurar rigor e qualidade na divulgação da Arqueologia, ou da Herança Cultural, usando a Computação Gráfica: as imagens produzidas não serão apenas imagens bonitas, mas sim imagens ou ambientes virtuais que servirão, também, de ferramenta ao arqueólogo.

1.2 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho consiste em representar, num Sistema de Ambiente Virtual, a cidade de Bracara Augusta e a sua evolução, durante os seus cinco séculos de existência. Esta aplicação deverá permitir ao seu utilizador, independentemente da sua especialização, navegar pelo espaço reconstruído de Bracara Augusta. Para além da navegação espacial será também possível navegar no tempo, por forma a fazer uma leitura da evolução da cidade em termos temporais.

Por outro lado, o mesmo sistema deverá servir, também, no processo de validação das reconstituições arquitectónicas que resultam da interpretação dos dados arqueológicos. As vantagens destas reconstruções virtuais não residem apenas na partilha do conhecimento.

O próprio processo de criação dos modelos tridimensionais conduz, com alguma frequência, a descobertas adicionais.

Em suma, este sistema deverá ser capaz de servir de ferramenta de investigação aos peritos que têm de estudar os dados arqueológicos e, também, terá de cumprir a função de divulgar esses mesmos dados, já devidamente analisados e tratados, a um público muito mais vasto e leigo.

1.3 Trabalho Desenvolvido

A primeira etapa deste trabalho correspondeu ao desenvolvimento de uma arquitectura para o sistema, tendo em conta as necessidades dos arqueólogos. Depois, foram criados modelos de reconstituições tridimensionais referentes a edifícios e infra-estruturas romanas existentes em Bracara Augusta que representam umas termas públicas (as termas romanas do alto da cidade), um edifício privado (a casa romana das Carvalheiras), as ruas principais e secundárias e a muralha romana.

Procurou-se, também, restituir com algum rigor a morfologia do terreno. Para isso recorreu-se às curvas de nível representadas num mapa do século XIX, que foram, num primeiro instante, digitalizadas, para depois ser atribuído a cada curva de nível um valor de cota do terreno. Finalizado este processo, procedeu-se à triangulação da sua superfície.

Para além da tarefa de modelação houve o cuidado de conferir algum realismo ao modelo, através de uma de...nição correcta de materiais e de uma aplicação cuidada de texturas (onde tal se justi...casse), bem como de uma de...nição adequada para um modelo de iluminação global.

Todos estes modelos foram, numa primeira fase, convertidos para a linguagem Virtual Reality Modeling Language 2.0 (VRML 2.0) para avaliar as suas capacidades de representação de Bracara Augusta Virtual. O VRML 2.0 permite descrever objectos tridimensionais e combiná-los por forma a gerar cenas e mundos. Pode também ser usado para criar simulações interactivas que incluam animações e movimento em tempo-real [Hartman 96].

Posteriormente, a representação de Bracara Augusta Virtual foi também testada através de dois sistemas de ambientes virtuais:

- ² Virtual Design 2 ¹ — o Virtual Design 2 é um sistema de ambientes virtuais desenvolvido no Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung, em Darmstadt na Alemanha, que possui ferramentas para preparar um cena virtual e conversores para ler diferentes formatos de dados [VRCOM 99];
- ² MAVERIK 6.1 ² — o MAVERIK 6.1 é um núcleo desenvolvido no Departamento de Ciências da Computação da Universidade de Manchester pelo Advanced Interfaces Group (AIG), capaz de gerar ferramentas para gerir a visualização e interacção em aplicações de ambientes virtuais [Hubbold 01].

Este sistema pretende ser o mais abrangente possível em termos das plataformas disponíveis para o utilizador, pelo que este trabalho foi desenvolvido por forma a que a sua implementação fosse possível nos sistemas operativos Windows, Linux e UNIX (IRIX 6.x).

1.4 Resumo dos Capítulos

O segundo capítulo deste trabalho procura esclarecer o que é a Arqueologia Urbana e ilustrar os problemas associados a esta disciplina. Mostra como a Arqueologia Urbana surgiu na Europa e, também, como surgiu em Portugal na cidade de Braga.

No terceiro capítulo é feita uma análise das áreas dentro da informática que são aplicadas na Arqueologia. Por conseguinte, é feita uma abordagem aos sistemas de desenho assistido por computador, aos sistemas de bases de dados, aos sistemas de informação geográfica e ao multimédia e ambientes virtuais, no que diz respeito ao seu conceito e características, bem como à sua aplicação na Arqueologia.

O capítulo quatro apresenta, de uma forma simples, o estado da arte dos ambientes virtuais e quais as tecnologias associadas, em termos de dispositivos de visualização e dispositivos

¹O Virtual Design 2 foi gentilmente cedido pelo Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung

²MAVERIK significa Manchester Virtual Environment Interface Kernel

de interacção. Também é feita uma abordagem às suas áreas de aplicação, com particular destaque para a Arqueologia. Aqui é feito um levantamento de projectos importantes que estão a decorrer nesta área.

No capítulo seguinte é definida a arquitectura do sistema. Num primeiro momento define-se concretamente o objecto em estudo. Depois é feita uma análise cuidada do problema fundamental deste trabalho e são traçados os seus objectivos. Por último, apresenta-se a arquitectura proposta para o sistema de ambientes virtuais aplicados à Arqueologia Urbana de Braga.

O capítulo seis descreve o trabalho de modelação 3D, e respectiva texturação, realizado para restituir virtualmente a cidade de Bracara Augusta, as ferramentas utilizadas e os resultados finais dessas reconstituições.

No sétimo capítulo descreve-se uma viagem virtual pelos edifícios de Bracara Augusta, que foram totalmente reconstituídos. Na circunstância, os edifícios em questão são as Termas Públicas do Alto da Cividade e a Casa Romana das Carvalheiras. No primeiro caso, a visita compreende apenas uma viagem pelo espaço. No entanto, no caso da Casa das Carvalheiras, para além da viagem pelo espaço é feita, também, uma viagem pelo tempo, mostrando a transformação do edifício.

Por último, vem o capítulo das conclusões, onde é feito um balanço global deste trabalho e são tecidas algumas considerações relativamente ao trabalho futuro.

Capítulo 2

Arqueologia Urbana

2.1 Introdução

A Cidade é uma realidade e um fenómeno social, que surge com as primeiras Civilizações, e que, justamente, é considerada um documento histórico vivo e vivido, pois possui materialidades que, para cada época, reflectem uma determinada vivência que as caracterizou. Desta forma, na Cidade o passado está sempre presente através dos seus espaços e arquitecturas, que a representam enquanto materialidades em constante transformação.

Contrariamente ao que aconteceu com a História, onde a relação com a Cidade já existe há longos anos, a intervenção sistemática da Arqueologia nas cidades históricas constitui um fenómeno muito importante das últimas décadas. Este fenómeno está em grande parte ligado ao considerável desenvolvimento urbano do pós-guerra, à valorização ideológica do passado e à emergência de uma consciência patrimonial nos cidadãos [Martins 00a].

Assim, a relação entre a Arqueologia e a Cidade não surgiu de um debate académico acerca da importância de alargar conhecimentos no âmbito da História Urbana, mas sim porque a própria sociedade sentiu necessidade de desenvolver uma lógica de recuperação, preservação e planeamento, dentro da qual foi sendo concedido um espaço crescente à actividade arqueológica. De facto, a prática de intervenção sistemática em meio urbano justicou a criação de uma área específica dentro da Arqueologia: a Arqueologia Urbana.

O objectivo estratégico de um elevado número de projectos de Arqueologia Urbana passa por conferir à Cidade uma dimensão histórica, através dos vestígios conservados das diferentes etapas da sua ocupação, e restituir a sua evolução em termos cronológicos, os seus espaços edificados, as suas actividades, bem como as suas vivências.

Em cerca de três décadas, a Arqueologia Urbana revolucionou conhecimentos e deu às cidades uma nova dimensão espacio-temporal, fazendo emergir à luz do dia fragmentos do passado, que se transformaram num novo património.

A Arqueologia, para além de ser geradora de conhecimento, é também uma prática criadora de materialidades, uma vez que as ruínas representam, depois de devidamente conservadas e integradas na cidade, um novo espaço de vivência.

Na realidade, dentro da Arqueologia, a Arqueologia Urbana é, seguramente, uma das áreas mais dinâmicas e inovadoras, mas, ao mesmo tempo, a mais problemática, por exigir um grande contacto com os cidadãos, que nem sempre possuem a sensibilidade adequada para compreender os trabalhos do arqueólogo. Daí que a divulgação de tais trabalhos, recorrendo às novas tecnologias de informação, se torne fundamental para sensibilizar a população e criar uma verdadeira consciência para o Património.

2.2 Origem e Evolução da Arqueologia Urbana

A Arqueologia, que surge como uma disciplina intimamente ligada à História, é uma disciplina que cria um discurso sobre o passado, dando-lhe um significado muito específico. Mas, para além disso, a Arqueologia é também uma metodologia para criar esse mesmo passado, desprezando tudo o que não é capaz de valorizar como significativo. É importante sublinhar que a evolução da Arqueologia proporcionou uma reavaliação das suas bases teóricas, uma revisão dos seus objectivos e procedimentos e um alargamento do seu campo de acção.

Efectivamente, até aos anos 60, as intervenções arqueológicas praticadas nas cidades históricas europeias foram muito raras. Isto resultava, basicamente, de dois aspectos: por

um lado, a Arqueologia não era considerada imprescindível ao discurso e conhecimento da História Urbana; por outro lado, a própria Arqueologia não parecia muito interessada nas cidades históricas.

Havia a ideia generalizada de que a intervenção dos arqueólogos nas cidades não era muito atractiva do ponto de vista académico, para além de ser difícil e extremamente dispendiosa. Assim, para que se criassem algumas condições que permitissem uma intervenção sistemática em meio urbano foi necessário assistir a uma evolução da própria Arqueologia, que passou pela sua adaptação às transformações sociais e ambientais da segunda metade do séc. XX, e a uma mudança de postura face ao passado da parte da Sociedade.

A Arqueologia Urbana, que nasceu nos anos 70 [Martins 00a][Silva 94], resulta, por um lado, de um complexo conjunto de fenómenos ligados às inúmeras e generalizadas destruições de espaços urbanos na Europa do pós-guerra [Ottaway 92] e, por outro lado, ao espírito e movimento conservacionista que surgiu, precisamente, devido a essas destruições excessivas. De facto, este movimento teve o mérito de criar importantes pressões junto do poder político, que foi obrigado a criar medidas, em alguns casos de e...cácia duvidosa, para a protecção do património das cidades.

A Arqueologia de salvamento praticada nas cidades até ao início da década de 70 começa então a ser uma prática contínua, que tem como base um projecto bem de...nido. Esse projecto desenvolve-se segundo uma programação coerente e adequada a cada sítio e apoia-se em equipas de investigação permanentes e infra-estruturas sólidas.

Naturalmente que em muitas situações existem incompatibilidades entre as exigências da intervenção arqueológica e os reais interesses políticos e económicos. Este facto, aliado à morosidade das intervenções arqueológicas em cidades, à falta de meios técnicos e humanos e à necessidade de renovação da própria disciplina, nem sempre ajuda a Arqueologia Urbana a cumprir o seu papel.

Não obstante as di...culdades encontradas, a Arqueologia Urbana é hoje extremamente rica em experiências que se foram consolidando ao longo das últimas três décadas em

vários países europeus. A experiência varia, naturalmente, de país para país, mas esta diferença não se deve tanto à efectiva capacidade dos arqueólogos em darem uma resposta aos desafios que lhes são colocados, mas mais a factores de natureza histórica e cultural inerente a cada país, à sua tradição académica, bem como ao modo como cada país valoriza e representa o seu passado.

A Arqueologia Urbana, de uma forma geral, foi-se afirmando e consolidando em todos os países (principalmente nos países Europeus), ajudando a Arqueologia a projectar-se socialmente e a renovar os seus métodos. Se, por um lado, é verdade que as intervenções urbanas têm, predominantemente, um carácter de salvamento e estão ligadas a projectos de renovação urbana, que são o seu garante financeiro, por outro lado, também é verdade que as intervenções urbanas se afirmaram um pouco por todo o lado, sendo, actualmente, a Arqueologia considerada, em alguns países, como condição necessária na formulação e implementação de políticas de planeamento.

Em suma, este percurso e a afirmação da Arqueologia Urbana nos últimos trinta anos só foi possível dentro de um contexto social e ideológico que se foi constituindo, o qual atribuiu o devido valor ao passado e deu consistência ao conceito de património.

A metodologia de intervenção em Arqueologia, e em particular em Arqueologia Urbana, passa por diferentes etapas. A primeira etapa começa por ser um cuidadoso planeamento da intervenção, seguindo-se uma fase de implementação e depois passando à escavação. Depois destas etapas segue-se o processamento, a análise e a interpretação da informação recolhida. Todas estas fases, com excepção da implementação, requerem procedimentos e técnicas bastante sofisticadas e cada vez mais multi-disciplinares.

Existe ainda uma última fase de extrema importância e que diz respeito à utilização de novas tecnologias de informação na Arqueologia Urbana. Desde muito cedo a Arqueologia Urbana começou a utilizar, com considerável sucesso, a informática para armazenar, gerir e processar grandes quantidades de dados arqueológicos, recorrendo aos Sistemas de Bases de Dados (SBD), aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e ao Desenho Assistido por Computador (CAD).

Mais recentemente, a utilização da Computação Gráfica, e muito em particular da Computação Gráfica 3D, está a ser igualmente muito importante na representação da informação arqueológica. Os modelos tridimensionais das construções e dos artefactos permitem a restituição de um ambiente virtual que possibilita a visualização do espaço, a interacção com ele e a representação de diferentes etapas evolutivas.

Esta nova ferramenta da Arqueologia Urbana irá contribuir, certamente, para acelerar a transformação da informação arqueológica em conhecimento sobre o passado e para divulgar rapidamente esse mesmo conhecimento.

2.3 Arqueologia Urbana em Braga

Como é referido em [Martins 00a], a realidade portuguesa até aos anos 60, no que respeita a relação entre as cidades históricas portuguesas e a Arqueologia, era muito semelhante aos restantes países. Nas décadas de cinquenta e sessenta aparecem, com alguma frequência, vestígios romanos um pouco por todo o país. Isto porque foi nesta altura que se iniciou uma fase de renovação dos equipamentos urbanos, nomeadamente redes de saneamento, água e telefones. Com a abertura de valas de implantação para este equipamento urbano, foram-se descobrindo vestígios arqueológicos por todo o lado.

Também foi nesta altura que se verificou, graças ao capital da emigração e um pouco por todo o país, uma expansão urbana que avançou de uma forma descontrolada para terrenos onde, em muitos casos, estavam sepultadas as antigas cidades romanas. Este avanço provocou, como infelizmente foi o caso de Braga, uma destruição irreparável de estruturas e de espólio, fundamentais para ampliar o conhecimento acerca do passado das cidades [Martins 92].

Em Braga, precisamente para travar a destruição em massa que aqui decorria, foi criado em 1976 o Projecto de Bracara Augusta [Martins 98b], que se destinava a salvar a zona Arqueológica de Braga. Este projecto, que possui contornos muito particulares uma vez que foi criado por uma decisão governamental, permitiu a constituição de uma equipa, dependente da Universidade do Minho, para fazer face às intervenções arqueológicas na

área urbana de Braga.

Ao longo do seu quase quarto de século de existência, este projecto teve de enfrentar dificuldades várias e passou por diferentes fases que ditaram diferentes estratégias e ritmos de intervenção arqueológica na cidade de Braga.

Inicialmente, o objectivo deste projecto era o salvamento da área arqueológica da cidade romana e envolveu um conjunto de iniciativas legislativas e um vasto trabalho arqueológico de salvamento e emergências. Este trabalho foi acompanhado por prospecções geofísicas para delimitar, com algum rigor, a área de Bracara Augusta. Esta definição rigorosa da área da antiga cidade romana tinha em vista a protecção legal dos terrenos que faziam parte dessa área. Já na década de 80 o projecto de salvamento evoluiu para um projecto de investigação, que procurava definir o urbanismo de Bracara Augusta.

No entanto, um conjunto de circunstâncias menos favoráveis remeteram para segundo plano a componente científica, dando, de novo, prioridade aos salvamentos e emergências. Não obstante, o projecto de Bracara Augusta mantém, ainda hoje, tanto a componente de salvamento, como a de investigação. Este facto faz dele um projecto pioneiro e único no nosso país. A direcção científica deste projecto depende da Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho e esta situação permitiu que as intervenções arqueológicas em Braga não fossem consideradas escavações de circunstância, mas sim integradas numa intervenção coerente.

Sendo um projecto misto, de salvamento e estudo, e com uma direcção científica, foi possível preservar e organizar os registos, defender a preservação de áreas de ruínas, para além de centralizar o espólio no Museu D. Diogo de Sousa. Também o gabinete de Arqueologia da Câmara Municipal de Braga tem, desde a sua criação em 1992, como prioridade a realização de salvamentos e emergências na zona do centro histórico de Braga.

Já em 1976 tinha sido previsto um novo plano de urbanização que protegesse as áreas da antiga cidade romana de novas construções. Isto, no entanto, nunca viria a acontecer, pelo que a partir de 1980 todo o subsolo de Braga viria a estar constantemente ameaçado pela forte expansão urbana. Assim, a equipa responsável pelo projecto foi obrigada a

realizar salvamentos, sempre que novas construções eram programadas. Desta situação exceptuam-se apenas três sítios que são a área arqueológica do Alto da Cidade, que está classificado como monumento nacional, o quarteirão das Carvalheiras, classificado como imóvel de interesse público e o troço da muralha romana na Quinta do Fujacal, classificado como imóvel de interesse público [Martins 98b].

Efectivamente, a enorme área potencialmente ameaçada por novas construções determinou que grande parte das intervenções em Braga tivessem e continuem a ter características de salvamentos.

Uma segunda categoria de intervenções são as escavações programadas, que se distinguem dos salvamentos não tanto pela metodologia de intervenção, mas sim pelo fim a que se destinam. As intervenções programadas têm como objectivo resolver problemas de investigação, determinados quer pelo estudo de um edifício particular, como acontece nas áreas classificadas, quer pela confirmação da existência de vestígios, presumidos pela análise da informação disponível.

Outro tipo de intervenção que se deve considerar é a observação, que incide sobre a área da cidade romana ou áreas periféricas e que não se traduz em escavações porque, caso geral, não são detectados vestígios.

As características dos tipos de intervenção realizadas em Braga (salvamentos, escavações programadas e observações) que resultam do carácter misto deste projecto, determinam a sua especificidade, pois exigem uma articulação de diferentes tipos de registos.

Também na área da informática aplicada à Arqueologia, este projecto se tornou pioneiro. De facto, desde 1996 [Martins 98b] a equipa responsável pelo projecto Bracara Augusta apostou na informatização dos dados provenientes de 20 anos de intervenções em Braga. Estes dados foram então integrados no Sistema de Informação Arqueológica de Bracara Augusta (SIABRA) [Giestal 98], que é um SIG dedicado ao projecto Bracara Augusta. O SIABRA é, como todos os SIG, um sistema geo-referenciado, que trata a informação arqueológica de Braga com vista a garantir e auxiliar a preservação, investigação, gestão e divulgação do património arqueológico da cidade.

A etapa seguinte deste projecto consistiu em recorrer às potencialidades dos Ambientes Virtuais para proceder à representação tridimensional de Bracara Augusta. Esta representação, que foi realizada a partir dos dados arqueológicos que se encontram no SIABRA, possibilita um melhor entendimento de Bracara Augusta, tendo em conta que se podem visualizar as reconstituições de alguns espaços desta cidade romana.

Capítulo 3

A Informática aplicada à Arqueologia

3.1 Introdução

O computador é, seguramente, um elemento fundamental da moderna tecnologia de informação (TI). Efectivamente, a partir da segunda metade do séc. XX os computadores começaram a desempenhar um papel muito importante na vida quotidiana e a sua influência é sentida cada vez mais. A Arqueologia não foge a esta regra.

A utilização de meios informáticos em Arqueologia remonta aos ...nais dos anos 50, inícios dos anos 60 [Reilly 92]. Nesta altura desenvolveram-se as primeiras aplicações para a Arqueologia, basicamente centradas no tratamento estatístico da informação recolhida das escavações.

Os sistemas computacionais começaram a ser utilizados por um conjunto muito restrito de arqueólogos e, inclusivamente, havia alguns que questionavam a sua utilidade em Arqueologia [Mathur 97]. Na realidade, a crescente utilização dos meios informáticos justificou, em inícios dos anos 70, a criação de uma conferência internacional de Aplicações Computacionais em Arqueologia (Computer Applications in Archaeology), onde especialistas e adeptos das novas tecnologias podiam trocar experiências e debater questões relacionadas

com os problemas inerentes a esta área.

Naturalmente que a utilização de meios informáticos em Arqueologia não ...cou apenas pela utilização de aplicações de cálculo estatístico. O surgimento dos primeiros sistemas de desenho assistido por computador (Computer Aided Drafting - CAD), despertou grande interesse na comunidade dos arqueólogos. Tais sistemas permitiram não só registar em suporte digital os desenhos de campo, mas também iniciar as primeiras tentativas de reconstituições digitais de terrenos e de estruturas, bem como representar ainda algum espólio encontrado em escavações.

Também a utilização de sistemas de bases de dados foi, desde muito cedo, uma prática muito comum em projectos arqueológicos de grandes dimensões. De facto, a gestão do vasto acervo de informação, que geralmente é produzido numa escavação, torna-se extremamente difícil se não se recorrer a uma base de dados. As base de dados permitem não só armazenar os dados, mas também, e principalmente, confrontar e relacionar a informação entre si, por forma a produzir mais informação que será utilizada na interpretação de um sítio arqueológico. Nos dias de hoje, é praticamente impensável iniciar um projecto de Arqueologia, e muito particularmente um projecto de Arqueologia Urbana, sem ter o suporte de um SBD que permita armazenar e relacionar convenientemente os dados da escavação.

Os Sistemas de Informação Geográfica aplicados à Arqueologia também vieram dar um contributo muito significativo no que diz respeito à preservação, investigação, gestão e divulgação do património arqueológico. Estes sistemas integram, geralmente, um SBD e um sistema de CAD, pelo que para além do relacionamento de informação alfanumérica é possível também efectuar o relacionamento de informação gráfica [Moscati 99].

A mais recente aplicação da Informática à Arqueologia são as aplicações multimédia e os ambientes virtuais. Estas aplicações permitem restituir tridimensionalmente um sítio arqueológico, navegar por entre as estruturas e interagir com o ambiente. Para além disto, podem conferir a um sítio arqueológico uma quarta dimensão, que é o tempo.

Actualmente, a utilização dos recursos informáticos em Arqueologia atingiu tal importân-

cia, que se torna quase impossível desenvolver um projecto de Arqueologia que não contemple uma componente informática. Esta componente informática deve não só auxiliar especialistas na sua investigação científica, mas também servir para preparar a informação e disponibilizá-la ao público em geral.

3.2 Desenho e Projecto Assistido por Computador

Os sistemas de desenho e projecto assistido por computador foram uma das primeiras aplicações da Computação Gráfica. Os primeiros trabalhos nesta área começaram a surgir no início dos anos 60, com o sketchpad de Ivan Sutherland no MIT e o projecto DAC-1 da General Motors, e proliferaram, um pouco por todo o lado, nos anos setenta [Kasik 00]. A sua influência foi crescendo de tal forma, que hoje em dia não é possível realizar um projecto válido nas diferentes áreas da indústria sem recorrer a sistemas de CAD. A sua importância faz-se sentir tanto do ponto de vista da qualidade final de um produto, como do ponto de vista dos custos associados à sua produção.

No início, estes sistemas estavam particularmente vocacionados para a indústria, no entanto, as suas potencialidades foram sucessivamente reconhecidas por outras áreas, das quais se destacam a Arquitectura, a Topografia, o Planeamento Urbano e a Arqueologia. É de notar que o interesse destas áreas pelo CAD impulsionou, fortemente, o seu desenvolvimento em termos das suas características e funcionalidades.

3.2.1 Conceito e Características

O objectivo principal dos sistemas CAD é auxiliar o desenvolvimento e a elaboração de um produto, ou seja, os sistemas de CAD fornecem suporte computacional na execução de um projecto. Esse projecto tanto pode ser a produção de uma peça para um automóvel, como a construção de um prédio, como ainda o levantamento rigoroso das estruturas de um sítio arqueológico ou o registo de planos, alçados e cortes de uma escavação.

Desta forma, compreende-se que os sistemas de CAD não sirvam apenas para desenhar: na

realidade eles permitem o primeiro passo na organização gráfica da informação. Ao separar a informação em níveis distintos, utilizando para isso cores e tipos de linhas diferentes está-se já a fazer uma primeira desconstrução da realidade, com o objectivo de perceber melhor essa mesma realidade.

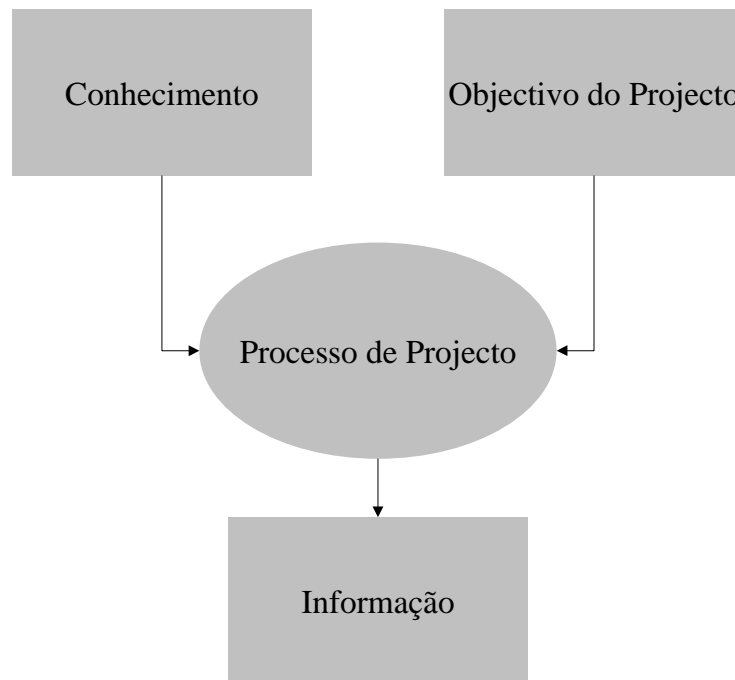


Figura 3.1: Modelo Simplificado do Processo de Projecto

A utilização de um sistema de CAD baseia-se sempre num modelo de projecto. De acordo com [Encarnação 83] um primeiro modelo, extremamente simples, para o processo de projecto pode ser representado de acordo com a Fig. 3.1 e tem como pressupostos básicos:

- ² os objectivos do projecto;
- ² o conhecimento exigido para desenvolver o projecto;
- ² a produção de informação, que pode ser documentada e usada na produção de mais conhecimento.

Por outro lado, é importante compreender que cada ser humano tem um modo muito

próprio de interpretar a realidade. Cada pessoa absorve a realidade que o envolve e, de acordo com a sua sensibilidade e interesse, constrói um modelo dessa realidade. Esse modelo é individualmente variável.

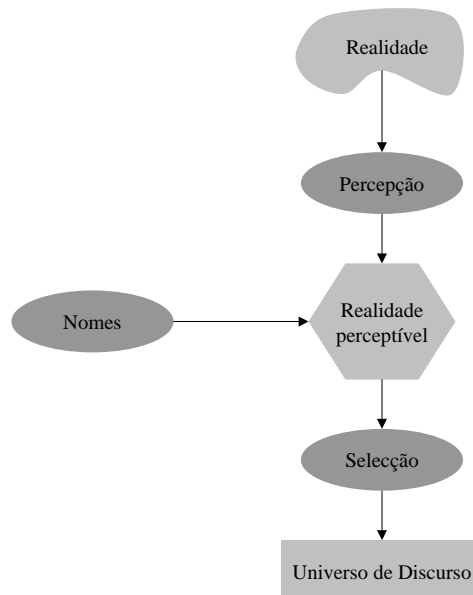


Figura 3.2: Modelação da Realidade

De facto, existem duas operações que são fundamentais na interpretação da realidade: a percepção e a selecção. Desta forma, facilmente se entende que cada ser humano apenas apreende um subconjunto da realidade. Esse subconjunto, ou seja, a realidade perceptível possui um conjunto de entidades às quais se atribui um nome. O universo do discurso será depois uma selecção dessas entidades (ver Fig. 3.2).

3.2.2 Aplicação à Arqueologia

Os sistemas de desenho e projecto assistido por computador possuem, em termos metodológicos, grandes semelhanças com a Arqueologia. É de crer que este facto, associado ao aparecimento dos primeiros sistemas de CAD para PC nos anos 80, sejam o principal motivo pelo qual a Arqueologia tem vindo a utilizar, desde então, os sistemas de CAD no estudo e representação dos sítios arqueológicos.

Analogamente ao que acontece com o processo arqueológico, também os sistemas de CAD procuram fazer, em primeiro lugar, uma desconstrução da realidade. Os utilizadores destes sistemas separam, de uma forma lógica, toda a informação que conseguem apreender da realidade. Essa informação é então representada graficamente recorrendo a formas geométricas, que são uma aproximação da realidade. Essas formas são de imediato separadas em níveis de informação, que são imprescindíveis para melhor compartimentar a informação. No final, agrupando todos os níveis de informação, obtemos um modelo da realidade.

No Projecto de Bracara Augusta, a utilização de sistemas de CAD já tem alguns anos e deve-se à lucidez da sua direcção científica. Toda a informação que é processada no sistema de CAD, e que está geo-referenciada, é depois disponibilizada para diferentes utilizações. Esta utilização é extremamente diversificada e vai desde a produção de plantas necessárias à investigação arqueológica e alimentação do SIG de Bracara Augusta, à sua divulgação, através de sistemas de informação multimédia e ambientes virtuais.

3.3 Sistemas de Bases de Dados

A tecnologia de Bases de Dados é uma área ligada à Informática, que se tem desenvolvido muito rapidamente e cuja importância tem vindo a crescer, tanto a nível de investigação como a nível de aplicação. Os primeiros sistemas de gestão de bases de dados começaram a surgir nos anos 60, pelo que, em termos informáticos, esta área já está bastante amadurecida e sólida.

3.3.1 Conceito e Características

Um sistema de bases de dados permite o armazenamento de dados num computador, com o objectivo de registar e gerir a informação [Date 90]. A Fig. 3.3 mostra um esquema simplificado de um SBD e evidencia os seus componentes principais:

² os dados;

² as aplicações;

² os utilizadores.

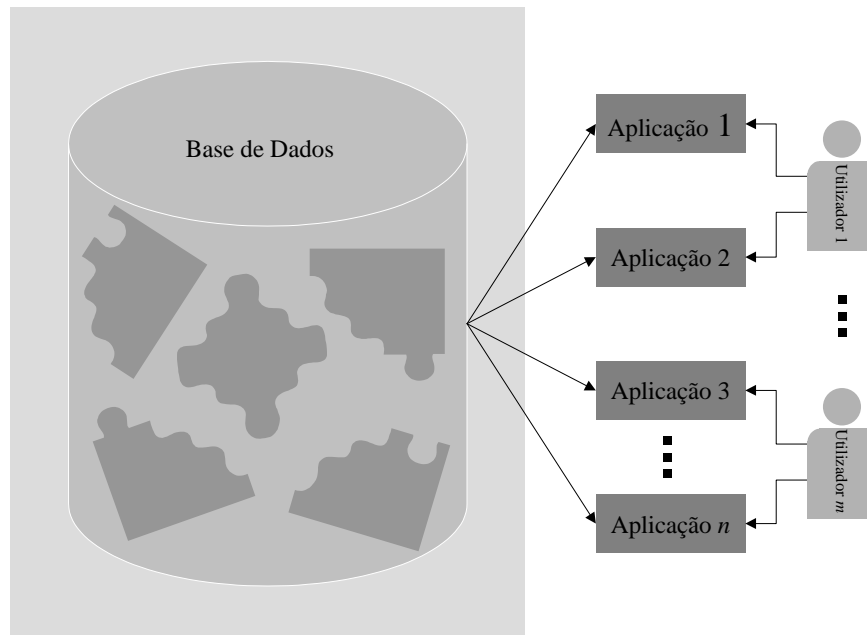


Figura 3.3: Modelo simplificado do Sistema de Base de Dados

Os dados são armazenados numa ou mais bases de dados. A base de dados é, então, um repositório de dados integrado e partilhado, porque, por um lado, permite a união de dados distintos, eliminando total ou parcialmente toda a redundância. Por outro lado, a mesma informação é disponibilizada a vários utilizadores. A redução de redundância e a partilha dos dados são, efectivamente, duas importantes características dos SBD. No entanto, existem outras, tais como:

² a minimização da inconsistência dos dados;

² a normalização dos dados;

² a aplicação de restrições de segurança;

² a manutenção da integridade dos dados;

² o controlo de requisitos conflituosos.

Entre a base de dados e o utilizador (programador, operador, utilizador ...nal e administrador da base de dados) existe, naturalmente, uma interface. Essa interface é o sistema de gestão da base de dados (SGBD), que trata de todos os pedidos de acesso à base de dados.

3.3.2 Aplicação à Arqueologia

A utilização de SBD aplicados à Arqueologia começou, um pouco por todo lado, nos anos 80. Em Portugal, um dos primeiros trabalhos a fazer uso de um SBD, implementado em dBase IV, foi o de [Lemos 93], com o seu estudo dos sítios romanos da região de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Uma grande vantagem das bases de dados é o controlo centralizado dos dados. Esta vantagem torna os SBD ferramentas imprescindíveis no trabalho do arqueólogo, visto que o manancial de informação que é obtido numa escavação é de tal grandeza, que muito rapidamente se torna difícil fazer a gestão dessa informação. Outra importante vantagem dos SBD na Arqueologia é, não tanto a possibilidade de fazer o registo e actualização da informação, mas sim a possibilidade de cruzar toda a informação que está na Base de Dados. Esta operação gera, naturalmente, mais informação, que pode alimentar também a Base de Dados.

Também nos SBD podemos traçar um paralelismo com o processo de produção de conhecimento em Arqueologia. De facto, ao desenhar um sistema de base de dados, o primeiro passo consiste em analisar a realidade e identi...car os elementos que a compõem. Novamente podemos identi...car aqui o processo de desconstrução da realidade. O conhecimento constrói-se pela confrontação dos diferentes elementos da realidade, ou seja, através do cruzamento dos diferentes tipos de dados.

3.4 Sistemas de Informação Geográfica

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser vistos como uma combinação entre a Cartografia Assistida por Computador (CAC) e a tecnologia das Bases de Dados, e começaram a ganhar algum protagonismo a partir dos anos 80. No entanto, o primeiro grande Sistema de Informação Geográfica integrado data de 1972 e foi desenvolvido para o governo canadiano [Lock 92].

3.4.1 Conceito e Características

Segundo [Gourad 98] e [Bernhardsen 92], encontrar uma definição universal para um SIG não é uma tarefa fácil. No entanto, todas as definições parecem ter como denominador comum o tratamento e manipulação de dados geográficos correctamente geo-referenciados. Para [Burrough 86], um SIG é um poderoso conjunto de ferramentas informáticas capaz de introduzir, guardar, transformar, manipular, analisar e apresentar dados espaciais, que geralmente estão na forma de mapas ou plantas, fotografias aéreas ou até mesmo imagens de satélite, e onde a localização geográfica desempenha um papel preponderante na análise.

A característica principal dos SIG é a sua capacidade de guardar uma enorme quantidade de dados sobre uma área geográfica específica. Tradicionalmente, esta informação está em diferentes mapas ou cartas, mas nos SIG é guardada em diferentes níveis de informação. Estes níveis de informação podem ser comparados, através da sua sobreposição, e integrados, produzindo nova informação e novos mapas (ver Fig. 3.4).

Geralmente, os SIG são desenhados para criar um modelo que represente uma determinada parcela do mundo real. Nesse sentido, cada vez mais estes sistemas de informação estão a ser utilizados para realizar vários tipos de estudos, principalmente na área do impacto ambiental. Na verdade, tendo em conta a sua particular capacidade para a elaboração de previsões, estes estudos podem ser utilizados como base para a tomada de decisões no âmbito da gestão e planeamento do território controlado pelo SIG.

Assim, os SIG são utilizados, intensivamente, em áreas que valorizam a análise espacial,

a cartografia e a modelação de dados, tais como a Geologia, a Geografia, as Ciências Ambientais e, também, a Arqueologia.

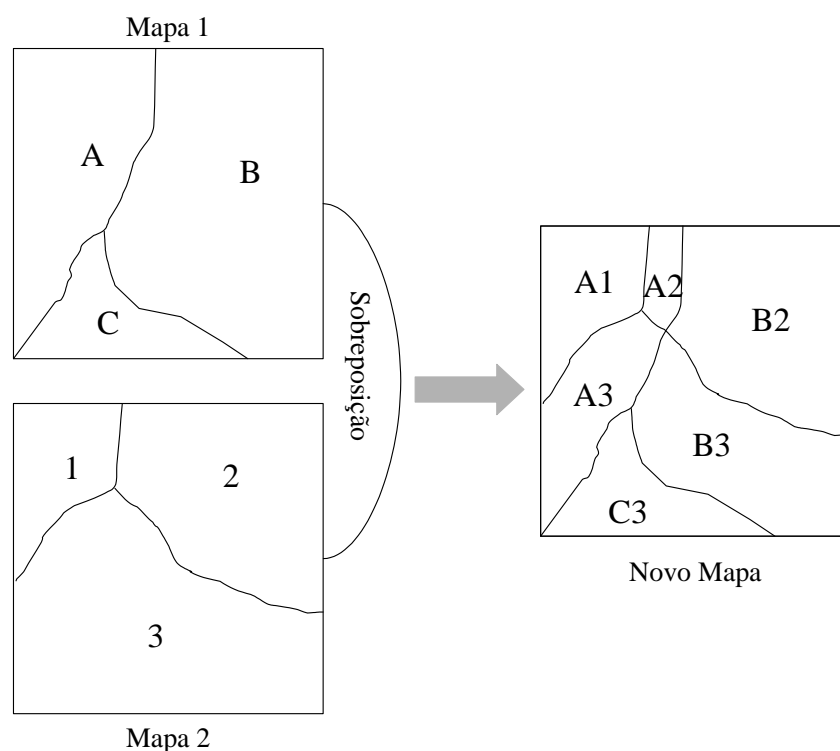


Figura 3.4: Sobreposição simples de Mapas num SIG

A capacidade analítica dos SIG deve-se ao facto de estes sistemas de informação combinarem as potencialidades de um sistema de base de dados com um sistema de CAD. Ou seja, um SIG combina um conjunto de tabelas com um conjunto de desenhos ou mapas. Entre estas duas entidades (tabelas e informação gráfica) é estabelecida uma correspondência, de modo a que uma alteração sobre uma delas se reflecta, imediatamente, na outra. Desta forma, os componentes mais importantes de um SIG são os dados dos mapas digitalizados, a sua representação e o conjunto de funções para manipular esses dados.

Há, naturalmente, algumas desvantagens na utilização de SIG, que se prendem, fundamentalmente, com a má utilização humana destas ferramentas. Como consequência disto, podem surgir erros nos dados introduzidos, na manipulação e análise de dados e, conse-

quentemente, erros de interpretação.

3.4.2 Aplicação à Arqueologia

Não obstante, e tendo em conta todas as características dos SIG, facilmente se compreende a sua importância e utilidade na Arqueologia, e particularmente na Arqueologia Urbana. Visto que os arqueólogos trabalham sobre dados espaciais, o SIG pode ser uma ferramenta muito poderosa. De facto, em termos de cartografia, o SIG é capaz de comparar e combinar diferentes mapas, integrar os dados arqueológicos em mapas, criar novos mapas e, também, analisar a informação geográfica geo-referenciada de muitas maneiras. Além disso, um SIG tanto é capaz de tratar a informação de uma grande região (por exemplo, um continente), os dados de um sítio arqueológico ou apenas os dados de uma quadrícula de um determinado arqueosítio. Daqui se pode depreender que um SIG tem capacidade para gerir uma enorme quantidade de informação e permitir um acesso fácil à mesma.

Outra grande vantagem de um SIG aplicado à Arqueologia é o facto de poder ser utilizado na gestão de sítios arqueológicos, visto que esta ferramenta pode monitorizar as condições dos sítios. Por outro lado, um SIG ajuda a planificar projectos de desenvolvimento que minimizem o impacto sobre recursos arqueológicos. No caso de ser definida uma política de conservação adequada às cidades históricas, um SIG pode funcionar como uma ferramenta extremamente útil [Agarwal 00].

De facto, se os Sistemas de Desenho Assistido por Computador e os Sistemas de Bases de Dados são ferramentas informáticas que ajudam na desconstrução de um sítio arqueológico, os Sistemas de Informação Geográfica são a ferramenta que articula todos os elementos desconstruídos e reconstrói toda a informação acerca de um determinado sítio arqueológico, gerando nova informação e potenciando o aumento e fortalecimento do conhecimento.

Tal como já tinha acontecido com as Bases de Dados, a introdução de um SIG num projecto de Arqueologia altera a forma como os dados são recolhidos, bem como a forma como são questionados. Este facto, aliás, está bem patente no trabalho de [Giestal 98], que concebeu o primeiro sistema de informação geográfica aplicado à Arqueologia Urbana,

em Portugal.

Em Arqueologia Urbana, os SIG devem ser utilizados, convenientemente, para aumentar o conhecimento acerca da história de uma cidade. Caso contrário, qualquer SIG pode acabar por ser apenas um novo sistema de armazenamento de dados.

3.5 Computação Gráfica, Multimédia e Ambientes Virtuais

Computação Gráfica, Multimédia e Ambientes Virtuais, são conceitos que, geralmente, estão associados e que, muitas vezes, se confundem. No entanto, são áreas perfeitamente distintas.

3.5.1 Conceitos e Características

A Computação Gráfica começou com a representação de dados nos monitores, pouco depois do início da utilização de computadores [Foley 90]. Naturalmente, a Computação Gráfica evoluiu no sentido de permitir a criação, armazenamento e manipulação de modelos e imagens de objectos. Estes modelos provêm de um conjunto diverso de áreas, tais como a Física, a Matemática, a Arquitectura, a Engenharia, entre outras, e incluem modelos que representam uma realidade ou até mesmo uma abstracção. De facto, hoje em dia a Computação Gráfica é extremamente interactiva: o utilizador controla a informação, a estrutura e a aparência dos objectos, bem como a forma como são representados, usando dispositivos de entrada diversos, como o teclado, o rato (2D e 3D), o écran tátil, entre outros.

O termo "Computação Gráfica" em Informática, tende a incluir quase tudo que não é texto ou som. Hoje, praticamente, todos os computadores têm capacidades gráficas e cada utilizador, que já não necessita de ter uma formação muito especializada, controla o seu através da manipulação, com um rato, de ícones e imagens, em substituição do tradicional teclado.

Na realidade, a Computação Gráfica está hoje presente no nosso dia-a-dia, mesmo entre

peças que não utilizem um computador diariamente, nos anúncios televisivos e nos efeitos especiais utilizados pela indústria cinematográfica na produção de filmes.

Nos últimos dez anos, a Computação Gráfica tem vindo a ser aplicada especialmente à Arqueologia monumental. Inicialmente, a modelação 3D foi usada para produzir desenhos de alta qualidade de monumentos reconstruídos e os custos associados a esta tarefa eram extremamente elevados. Actualmente, com a redução dos custos do hardware e do software necessários à produção destas imagens, já muitos projectos de Arqueologia utilizam este recurso [Nicola 00].

Definir Multimédia não é, de todo, uma tarefa fácil e a comprová-lo estão os trabalhos de [Grimes 91] e de [Packer 99], respectivamente. Um intervalo de oito anos separa a sua publicação e é evidente a evolução conceptual que se operou, durante este tempo, neste campo. No entanto, quando se debruçam sobre a definição de Multimédia, os autores são unânimes em considerar difícil a caracterização única do domínio.

Deve-se entender Multimédia, antes de mais, como uma tecnologia que procura divulgar informação de uma forma multi-sensorial, ou seja, recorrendo aos diferentes sentidos do ser humano, tais como a audição, a visão e o tacto. Outros sentidos, tais como olfacto e o sabor, não são (ainda) utilizados em aplicações multimédia, mas devem também ser considerados. Aliás, [Packer 99] mostra que o Multimédia não começou nos anos 60-70, mas está bem patente em sítios como as cavernas de Lascaux, no sul de França: basta imaginar uma manifestação ou evento em que os participantes estão envolvidos num ambiente tridimensional composto por imagem, som, símbolos e, até, odor.

Não obstante, para muitos investigadores, e.g. [Bimbo 00], Multimédia continua a ser um termo que identifica uma área de investigação muito específica dentro das Tecnologias de Informação, que se preocupa com o processamento, gestão, distribuição e divulgação de informação composta, disponível através de diferentes media.

Por sua vez, os Ambientes Virtuais são ambientes gráficos interactivos, que integram a recriação tridimensional de entidades existentes ou fictícias com outra informação multimédia e permitem uma sensação de imersão em mundos virtuais e interacção directa

com os objectos que os compõem [Encarnação 95]. Essa interacção pode ser feita através da navegação, em tempo real, pelo espaço recriado, ou, até mesmo, da manipulação dos objectos existentes no cenário virtual.

Os Ambientes Virtuais são um dos passos mais signi...cativos no que diz respeito a uma comunicação mais natural entre o Homem e o computador, permitindo uma apresentação fácil de dados complexos, que podem ser manipulados de uma forma extremamente intuitiva.

De facto, os Ambientes Virtuais são uma tecnologia bastante controversa, mas que, ao contrário de muitas outras, captou a atenção e o envolvimento das Ciências Humanas e da Herança Cultural. Uma razão apontada por [Machover 94] para o sucesso dos Ambientes Virtuais junto da comunidade das Ciências Humanas é o facto da interacção em ambientes virtuais fazer uso de quase todos os sentidos do ser humano.

Num ambiente virtual há três características da maior importância:

- ² a qualidade de imagem;
- ² a interacção;
- ² o comportamento dos objectos que compõem o ambiente virtual.

A qualidade realista das representações é indispensável para que o utilizador compreenda e analise correctamente a informação que lhe é apresentada. Em especial, se os modelos representam objectos reais, ou objectos sobre os quais os utilizadores têm um bom conhecimento sobre as suas características visuais, a qualidade da representação pode condicionar a aceitação do ambiente virtual. A interacção com o ambiente terá de ser executada de uma forma natural, muito próxima da manipulação que poderá ser executada no mundo real, para que não seja perturbada a imersão no ambiente virtual. Quando o ambiente virtual contém modelos que representam objectos com uma vida própria, é fundamental a simulação do seu comportamento em situações diversas e possíveis de encontrar durante a exploração do ambiente virtual.

É natural que, quando se fala em sistemas de ambientes virtuais se associe imediatamente a Computação Gráfica, que é responsável pela visualização da informação, o som e, também, o tacto (Fig. 3.5). Um utilizador que recorra a um sistema de ambientes virtuais para imergir num cenário virtual vai utilizar mais do que um sentido para descodificar a informação que lhe vai ser transmitida, ou seja, o utilizador vai estar, também, na presença de um sistema multimédia.

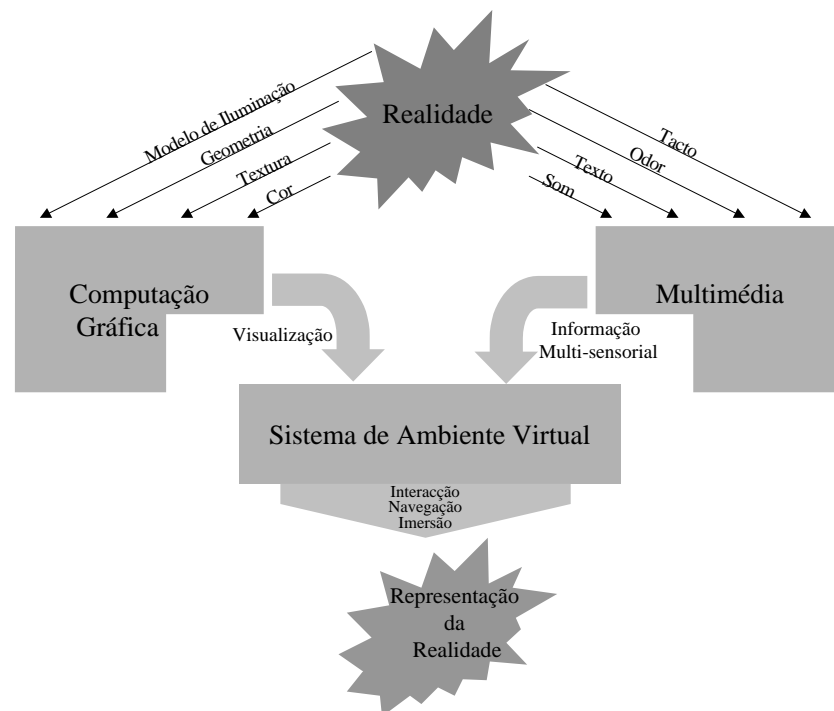


Figura 3.5: Computação Gráfica, Multimédia e Ambientes Virtuais

A utilização destas ferramentas, tanto para a investigação como para a divulgação do conhecimento, na Arqueologia está a conquistar, cada vez mais, adeptos dentro desta área. Tendo em conta [Peterson 95], a Computação Gráfica na investigação arqueológica está cada vez mais a ser utilizada para realizar a visualização de dados complexos. Os primeiros trabalhos que recorreram a esta técnica foram a reconstrução virtual do templo Romano de Bath e da Abadia de Furness, em Inglaterra. Estes exemplos possuíam elevado rigor em termos de modelo geométrico, no entanto apresentavam ainda um grau de realismo

visual bastante baixo.

Mas, para [Roberts 97], o elevado realismo visual das imagens representadas pode ser perigoso, visto que o utilizador pode ser levado a acreditar que aquilo que está a ver corresponde, de facto, à verdade. Tendo em conta que muitas vezes estas representações se baseiam em dados muito incompletos, elas são, efectivamente, por vezes excessivamente realistas. Por esta razão, é importante não apresentar apenas uma alternativa de reconstrução, mas várias que satisfaçam as exigências dos peritos.

3.5.2 Aplicação à Arqueologia

As primeiras aplicações de Ambientes Virtuais e Multimédia à Arqueologia datam de ...nais dos anos 80 e inícios dos anos 90 e foram desenvolvidas em países como Inglaterra [Reilly 88], Estados Unidos [Cornforth 92] e Alemanha [Jakobs 95]. No entanto, é de notar que quando se começou a aplicar estas novas tecnologias à Arqueologia, os resultados nem sempre satisfaziam as necessidades dos especialistas nem a curiosidade do público [Addison 00]. Esse fracasso deveu-se, fundamentalmente, ao facto da tecnologia de então ainda estar numa fase larvar e, também, ao facto de haver pouca sensibilidade, por parte dos peritos das novas tecnologias, para o discurso arqueológico. Hoje, estas di...culdades estão mais suavizadas tendo em conta que as tecnologias ligadas aos Ambientes Virtuais e Multimédia evoluíram muito e, também, que as equipas que trabalham em projectos de reconstituição de um sítio arqueológico são cada vez mais multidisciplinares.

Um dos primeiros trabalhos apresentados nesta área, em Portugal, foi a reconstituição virtual do Mosteiro de Santa Clara-a-Velha [Teixeira 97], em Coimbra (Fig. 3.6 ¹). É de notar que o interesse de investigadores ligados à Computação Grá...ca pela Arqueologia já se veri...ca há algum tempo, como se pode veri...car em [Brodlie 88] e em [Spicer 88], e que, com a evolução da Computação Grá...ca, este interesse se justi...ca cada vez mais [Berndt 00].

A Arqueologia é um campo de aplicação extremamente interessante para Ambientes Vir-

¹ Imagem gentilmente cedida pelo Centro de Computação Grá...ca

tuais. O património cultural e arquitectónico, em alguns casos degradado, noutros mesmo desaparecido, pode ser hoje recuperado com ajuda das novas tecnologias, permitindo o estudo e exploração temática de "mundos desconhecidos" e/ou reconstruídos de uma forma adequada às necessidades dos diferentes intervenientes no processo de reanimação do património.



Figura 3.6: Reconstituição Virtual do Mosteiro de Sta. Clara-a-Velha: o Claustro

Os Ambientes Virtuais apresentam-se muito vantajosos para a investigação arqueológica. A reconstrução arqueológica, usando um grande número de técnicas de Modelação Geométrica e de Computação Gráfica, é uma ferramenta de suporte à investigação muito útil se os modelos forem rigorosos. Como o rigor é um grande objectivo de todos os arqueólogos, é necessário investir em recursos que permitam a obtenção de rigor, por forma a preservar e transmitir subtilezas que, de outro modo, se poderão perder, ser ignoradas em processos futuros de estudo e investigação ou deixar de ser conhecidas pelas gerações vindouras.

A divulgação da informação arqueológica, usando os Ambientes Virtuais e o Multimédia, são também de enorme importância para a democratização do saber. Aquilo que não se conhece, não se aprende a respeitar. Assim, os Ambientes Virtuais e o Multimédia

prestam um importante serviço, no que diz respeito à descodi...ção da informação arqueológica para o grande público e, conseqüentemente, à consciencialização da importância do património arqueológico.

Tal como os Sistemas de Informação Geográ...ca, onde técnicas de Computação Grá...ca são usadas para representar um modelo de um terreno ou para integrar a distribuição espacial de dados, também os Ambientes Virtuais e os Sistemas de Multimédia têm como principal função reconstruir toda a informação de um sítio arqueológico. Estas ferramentas têm a particularidade de permitir, a quem manipula a informação, construir inúmeros modelos que representem a restituição tridimensional de um arqueosítio. Desta forma, com base nos mesmos dados, o utilizador pode restituir tridimensionalmente um sítio de diferentes formas, aumentando, assim, o conhecimento do mesmo.

Capítulo 4

Estado da Arte dos Ambientes Virtuais

4.1 Introdução

Deve-se a Ivan Sutherland o conceito de Ambiente Virtual, que surgiu pela primeira vez em 1965 [Rheingold 91]. Para além da expressão "ambiente virtual" é frequente encontrar na literatura expressões como "realidade arti...cial", "realidade virtual" e "mundo virtual", que têm o mesmo signi...cado. Todavia, as expressões "ambiente virtual" e "mundo virtual" parecem ser mais correctas e consistentes do ponto de vista da linguística [Ellis 94].

No início dos anos 90 a tecnologia associada aos ambientes virtuais estava longe de ser ideal. No entanto, já nessa altura os ambientes virtuais se apresentavam como uma interface natural entre o utilizador e o computador [Ribarsky 94]. De facto, o desenvolvimento de tecnologia relacionada com ambientes virtuais tem constituído um factor muito signi...cativo no que diz respeito à criação de interfaces pessoa-computador mais "naturais", bem como à facilidade de apresentação e interacção intuitiva com dados complexos. Os ambientes virtuais são capazes de representar vários aspectos de um ambiente natural ou mesmo de um mundo totalmente arti...cial.

Os ambientes virtuais são sistemas grá...cos com interacção em tempo real, que integram

modelos tridimensionais com outra informação multimédia e permitem uma sensação de imersão em mundos virtuais, bem como a manipulação directa dos objectos que os compõem [Encarnação 95]. Em muitas situações, para aumentar a sensação de imersão são utilizados elementos não-visuais, como o som e o tacto.

A tecnologia associada aos ambientes virtuais está claramente a evoluir no sentido de utilizar sistemas mais flexíveis, menos caros e que ocupem menos espaço, na visualização de cenários virtuais. Desta forma, torna-se mais fácil disponibilizar tecnologia imersiva 3D.

No entanto, não obstante os grandes avanços que se têm verificado nas tecnologias que suportam os ambientes virtuais, a interacção 3D com objectos presentes num mundo virtual continua a ser um problema em busca de uma solução ideal [Feiner 00].

De acordo com [Brooks 99], numa apresentação em ambiente virtual estão envolvidas quatro tecnologias fundamentais:

- ² os dispositivos de visualização, de áudio e tácteis, que imergem o utilizador num cenário virtual;
- ² o sistema de processamento gráfico que gera as imagens virtuais a uma frequência de 20 a 30 imagens por segundo;
- ² o sistema de localização, que continuamente reporta a posição do utilizador;
- ² o sistema de construção e gestão da base de dados, que permite a construção e manutenção detalhada e realista dos modelos de um cenário virtual.

Para além destas, existem outras tecnologias auxiliares, que também são importantes, mas não tão fundamentais:

- ² a sintetização do som, que inclui o som direccional;
- ² os dispositivos de interacção com os objectos virtuais;
- ² as técnicas de interacção que simulam a interacção real possível num mundo físico.

A evolução tecnológica operada na área dos ambientes virtuais potenciou o aparecimento dos Sistemas de Realidade Aumentada. A Realidade Aumentada sobrepõe imagens geradas por computador em espaços reais, usando um dispositivo próprio [Encarnação 00]. Esse dispositivo pode ser entendido como uma espécie de óculos que apresentam ao utilizador uma imagem gerada por computador e que lhe possibilitam ainda vislumbrar o mundo real [Rosenblum 00]. Segundo [Fuhrman 98], os sistemas de realidade aumentada constituem o ambiente de trabalho privilegiado para a visualização colaborativa. A combinação destes sistemas com os ambientes virtuais, aliados ainda aos computadores usáveis ("wearable computer"), decerto que proporcionarão o desenvolvimento de inúmeras aplicações, que vão desde o uso militar à indústria automóvel, passando, com toda a certeza, por áreas como a Educação e o Entretenimento [Astheimer 99] e também a Herança Cultural [Coors 00].

Um novo conceito que aparece em [Praja 00] é o de realidade real ou remota (Real Reality). A ideia base deste novo conceito é a interacção digital com ambientes reais, fazendo uso de todos os sentidos humanos, ou seja, um utilizador pode interagir e experimentar, de um modo digital, um ambiente remoto, a partir de qualquer lugar e independentemente da sua separação geográfica.

4.2 Tecnologias Associadas

Nos ambientes virtuais, o dispositivo para a representação das imagens virtuais nem sempre é um écran. Aliás, para muitos investigadores desta área, a utilização de um écran na visualização de um cenário tridimensional virtual não cria a ilusão de imersão, logo não se está na presença de um ambiente virtual.

De facto, os dispositivos actualmente mais utilizados em ambientes virtuais são os capacetes de visualização (Head-mounted display - HMD), a Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), a projecção panorâmica e as mesas virtuais (ver Fig. 4.1).

Os capacetes de visualização foram os dispositivos que mais divulgação tiveram junto do grande público. Uma grande percentagem de utilizadores está hoje perfeitamente

familiarizada com este equipamento, principalmente graças à indústria do entretenimento. Os "capacetes", como são vulgarmente conhecidos, sofreram nos últimos anos uma grande evolução, tanto em termos de custo, como em termos de qualidade de representação da imagem.

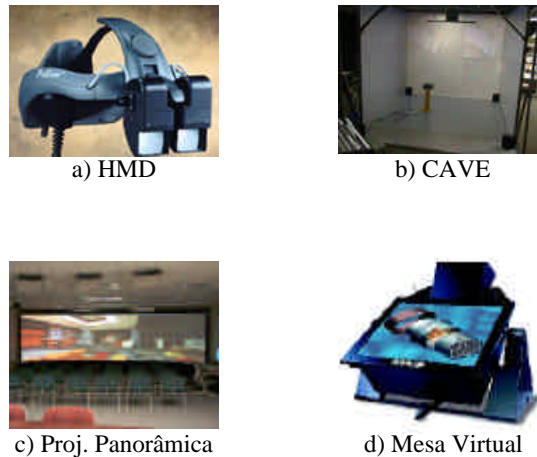


Figura 4.1: Dispositivos de Visualização

As CAVE representam um espaço paralelepípedo de visualização interactiva, composto por três ou mais paredes de projecção estereoscópica. Actualmente, a resolução da projecção já é bastante elevada, na ordem dos 1280x1024 pixels. As duas principais vantagens das CAVE são o enorme campo de visão que possuem e a possibilidade de facultar a um pequeno grupo de utilizadores uma experiência de imersão partilhada. No entanto, este dispositivo, para além de ser extremamente caro, ocupa um espaço físico considerável, sendo, por isso mesmo, incomportável para um grande número de laboratórios de ambientes virtuais. Existem também alguns problemas referentes ao brilho, contraste e saturação da cor.

A projecção panorâmica é particularmente apropriada para ser utilizada por grupos de utilizadores e é frequentemente utilizada por grupos multi-disciplinares em trabalhos de análise e revisão. Este tipo de dispositivo resolve parte dos problemas que surgem na CAVE, mas perde no que diz respeito à sensação de imersão.

A mesa virtual é um dispositivo bastante recente e a sua grande vantagem, relativamente aos dois sistemas de projecção anteriores, é o seu custo e tamanho mais reduzido. Na verdade, podemos pensar numa mesa virtual como sendo um monitor de tamanho grande, ...xo por um eixo horizontal e que se pode colocar numa posição mais vertical ou mais horizontal. Este dispositivo permite ainda visão estereoscópica, contribuindo para uma melhor visualização e manipulação tridimensional dos objectos, em ambiente cooperativo ou não.

Também os motores de rendering¹ sofreram grande evolução, tanto em termos de velocidade como em termos de custo. Uma estação de trabalho gráfica tem, cada vez mais, uma maior capacidade para processar a informação geométrica, cada vez mais complexa, de um cenário virtual. Por outro lado, os preços associados ao hardware necessário para a produção de imagens virtuais estão cada vez mais acessíveis. Desta forma, cada vez mais surgem configurações para ambientes virtuais acessíveis a um cada vez maior número de instituições e pessoas [Rosenblum 98].

Apesar de subsistirem alguns problemas na interacção e manipulação de objectos em ambientes virtuais, o que os torna tão atractivos é a capacidade de navegar e interactivar com o cenário 3D. A navegação é, tipicamente, um passeio pelo mundo virtual e que pode ser conduzido usando um conjunto de dispositivos de entrada tais como a luva de dados, o space-ball, o space-mouse, o joystick, o rato e o teclado (ver Fig. 4.2). A interacção com os ambientes virtuais tende a ser bastante intuitiva e cada vez mais análoga à interacção com o mundo real: o utilizador pode "agarrar" os objectos, observá-los de perto e de todos os lados, bem como analisar o seu comportamento.

Para modelar ambientes virtuais é de capital importância considerar a hierarquização da informação, que permite a interacção com objectos individuais a diferentes níveis. A hierarquia dos objectos é também usada para aumentar a velocidade de rendering, aplicando níveis de detalhe (level of detail - LOD) ou outros mecanismos, tais como os impostores (imposters).

¹Em Computação Gráfica rendering corresponde ao processo de criar imagens a partir de modelos geométricos [Foley 90].



Figura 4.2: Dispositivos de Interação

Um importante aspecto dos ambientes virtuais é o realismo. Numa cena virtual, este não é alcançado apenas com uma modelação cuidada e rigorosa, mas também depende de uma aparência e simulação credível do mundo virtual e implica a representação natural dos seus participantes. Neste último caso, o realismo envolve dois elementos fundamentais:

² aparência credível;

² movimentos realistas.

Segundo [Ofek 97], dois aspectos contribuem decisivamente para a obtenção de imagens realistas: o rendering e o mapeamento de texturas .

Um bom rendering está naturalmente dependente da iluminação global da cena, do cálculo correcto da orientação das facetas e da triangulação dos objectos que compõem o mundo virtual. A elevada qualidade do rendering depende da geometria do modelo que está a ser processado e pressupõe uma definição correcta das propriedades dos materiais que compõem um modelo, bem como um rigoroso mapeamento de texturas aplicado às diferentes superfícies do mesmo. A maior parte das texturas usadas provêm, normalmente,

de fotogra...as, apesar de, em certas circunstâncias, ser necessário produzir texturas arti...ciais, que têm a desvantagem de ser demasiadamente regulares e "limpas". Por outro lado, as texturas que são produzidas a partir de fotogra...as também apresentam algumas desvantagens:

- ² dependem das condições de luminosidade que existiam na altura em que a fotogra...a foi tirada;
- ² são capturas em perspectiva e portanto estão distorcidas;
- ² a qualidade da imagem pode ser insu...ciente.

Desta forma, é sempre necessário efectuar um pós-processamento da textura depois de esta ser digitalizada.

4.3 Áreas de Aplicação

Os ambientes virtuais não são apenas importantes pelo avanço tecnológico que foi operado na Informática. De facto, mais importante que o avanço tecnológico é a aplicação deste paradigma a áreas tão diversas como a Medicina, a Arquitectura, a Educação e a Visualização Cientí...ca, entre outras.

Mais ainda, dentro da própria Informática, existem áreas que procuram integrar a tecnologia de ambientes virtuais nas suas aplicações. O CAD é precisamente uma dessas áreas. Ao adicionar as potencialidades dos ambientes virtuais aos sistemas de CAD, o utilizador reduz, signi...cativamente, o tempo de produção de projecto e, consequentemente, os custos a ele associados [Berta 99].

4.3.1 Arquitectura e Planeamento Urbano

O projecto arquitectónico é muitas vezes difícil de explicar e analisar usando os métodos de apresentação tradicional. Naturalmente, as técnicas de ambientes virtuais não vão

substituir o desenho arquitectónico, mas a verdade é que dificilmente o desenho pode transmitir, por exemplo, a definição do espaço volumétrico. De facto, muitas pessoas têm dificuldades em apreender e interpretar tais desenhos. A utilização de ambientes virtuais simplifica esta tarefa, ao permitir passear pelos edifícios virtuais bem como proceder à sua exploração interactiva [Larijani 94].

Na arquitectura de interiores, além do passeio através do espaço interior, existe a necessidade de interacção com a cena para permitir alterações ao projecto, mover peças de mobiliário virtual ou, inclusivamente, para apresentar ideias e conceitos alternativos. Neste caso, os Ambientes Virtuais não são apenas utilizados para apresentar um projecto conceptual, mas assumem o papel de uma ferramenta interactiva durante a fase de planeamento.

A representação de bairros e de cidades em ambiente virtual serve fundamentalmente para avaliar o impacto arquitectónico causado pela integração, alteração e remoção de diferentes elementos (prédios, mobiliário urbano, elementos de sinalética, etc.) da área existente.

4.3.2 Medicina

Em Medicina, os Ambientes Virtuais são frequentemente usados como simuladores de treino em alternativa aos métodos de treino convencionais [Encarnação 94]. Um jovem e inexperiente médico pode assim praticar e melhorar as suas capacidades cirúrgicas em modelos virtuais humanos, em vez de usar modelos artificiais físicos, muito difíceis de construir, ou mesmo cobaias.

Por exemplo, estes novos ambientes de treino permitem aos cirurgiões a prática de cirurgias reconstrutivas complexas e específicas a cada paciente, graças à utilização de diferentes tipos de visualização detalhada e, também, de feed-back táctil.

Nos Estados Unidos da América foram desenvolvidos Ambientes Virtuais para apoiar o tratamento psiquiátrico de pacientes. De facto, estes Sistemas de Ambiente Virtual estão a ser utilizados com algum sucesso no tratamento de certas fobias [Brooks 99] como, por

exemplo, o medo de voar. Existem também algumas experiências bem sucedidas feitas no tratamento de situações de stress pós-traumático de veteranos da guerra do Vietname.

4.3.3 Visualização Científica

A utilização de ambientes virtuais para a visualização científica é uma aplicação que interessa muito à comunidade dos cientistas (físicos, químicos, matemáticos, etc.). De facto, os cientistas lidam todos os dias com problemas de complexidade crescente que, consequentemente, produzem modelos e conjuntos de dados maiores e mais complexos. Estes dados descrevem na sua maioria estruturas tridimensionais complicadas ou podem ser visualizados usando superfícies 3D que possuem uma geometria complexa [Dam 00].

Tendo em conta a elevada complexidade dos dados, é natural que um utilizador de um sistema de visualização científica em ambiente virtual possa, prontamente, explorar e perceber estas estruturas complexas num ambiente que permita a navegação e interacção com os dados. Desta forma, o utilizador pode observar e analisar diferentes aspectos de um conjunto de dados complexos.

4.3.4 Formação e Treino

Os ambientes virtuais podem também ser aplicados em áreas como a formação e educação. Tendo em conta a difícil tarefa que hoje em dia um professor enfrenta para cativar a atenção de um aluno para a sua disciplina, a tecnologia dos ambientes virtuais oferece ferramentas bastante indicadas para fomentar o interesse dos alunos por uma determinada disciplina. A divulgação de informação através de uma aventura exploratória, adequada aos níveis etários e aos diferentes graus de escolaridade, contribuirá para a aprendizagem e desenvolvimento de capacidades cognitivas e afectivas mais sólidas e duradouras. De facto, será com toda a certeza mais interessante aprender Geometria, Trigonometria, ou até mesmo Física e Química num cenário virtual que transmita ao aluno uma informação visual, do que tentar explicar a mesma matéria da forma tradicional.

A formação e treino de pilotos de aviões passa, em muitos casos, pela utilização de am-

bientes virtuais. A British Airways possui um simulador que recria em ambiente tridimensional o avião Boing 747 [Brooks 99]. A pilotagem deste avião envolve alguns riscos acrescidos, pelo que a utilização deste simulador para treinar os pilotos é uma forma de prevenir acidentes trágicos e salvar centenas de vidas.

Também a NASA recorre aos ambientes virtuais para treinar os seus astronautas no desempenho de tarefas específicas que envolvem sempre um alto risco.

4.4 Os Ambientes Virtuais na Arqueologia

Para um vasto número de pessoas, o conceito de Ambiente Virtual está, de facto, intimamente ligado às áreas de aplicação anteriores. No entanto, recentemente surgiu uma nova área, que usa as diferentes aplicações dos Ambientes Virtuais. Esta nova área dá pelo nome de Herança Cultural Virtual e tem vindo a tornar-se cada vez mais importante, no que diz respeito à conservação, preservação e interpretação do imenso legado histórico da Humanidade [Refsland 00].

De facto, a vasta área de aplicação dos ambientes virtuais permite-nos concluir que estes constituem uma forma privilegiada de divulgação de aspectos culturais e científicos. A Cultura e a Ciência são assimiladas e compreendidas mais facilmente, uma vez que os utilizadores podem interagir com o mundo virtual e manipular os dados, produzindo diferentes modelos de conhecimento.

Embora a figura de Indiana Jones, interpretada no cinema pelo actor Harrison Ford, não seja a forma mais correcta de caracterizar um arqueólogo, não deixa de ser verdade que um arqueólogo tem de enfrentar no seu dia-a-dia inúmeros desafios. A partir de ruínas e de fragmentos de diferentes artefactos, tem de recriar um modelo que seja capaz de transmitir a vivência de uma comunidade desaparecida há vários séculos, ou até mesmo milénios. A sua tarefa não se resume apenas a escavar, a recolher os dados e a organizá-los, mas também a criar uma visualização do passado.

Precisamente para criar essa visualização do passado, os arqueólogos dispõem já de um

conjunto de ferramentas na área da Computação Gráfica, que concretiza as suas representações mentais através de modelos tridimensionais. Estas reconstituições 3D virtuais servirão para a investigação e poderão ser partilhados com outras pessoas. O trabalho apresentado em [Abouaf 99] reflecte bem esta situação.

Efectivamente, os ambientes virtuais aplicados à Arqueologia são uma ferramenta particularmente interessante para os arqueólogos divulgarem as suas descobertas junto dos seus colegas. Em vez de descrever uma escavação recorrendo a um texto e a desenhos, pode-se reconstruir um arqueosítio em três dimensões e explorá-lo interactivamente.

Além disso, à medida que novos dados vão sendo disponibilizados, o modelo virtual pode ser actualizado com essa informação. Outra forma de melhorar os modelos do passado passa por introduzir-lhes maior detalhe e mais rigor, recorrendo ao trabalho cooperativo, em ambiente virtual, entre arqueólogos.

Esta partilha de conhecimento verifica-se também com o público em geral. Geralmente, a informação sobre um sítio arqueológico é divulgada, através de exposições, em museus. No entanto, esta forma de divulgação apresenta algumas limitações:

- ² Grande parte dos museus reservam apenas algum espaço para as suas exposições, pelo que cada uma pode estar montada apenas durante algum tempo e mostrando apenas parte do espólio;
- ² Durante a exposição o espólio de um sítio arqueológico corre sempre o risco de ser danificado por acção humana ou mesmo furtado;
- ² A exposição de algumas peças à acção do ar e da luz directa pode causar danos irreparáveis.

Uma forma de minimizar estas limitações passa precisamente pela utilização de ambientes virtuais para divulgar não apenas o espólio de um arqueosítio, mas também as estruturas onde esse espólio foi encontrado.

Assim, e para que o rigor da informação científica seja preservado, é necessária uma elevada atenção durante a produção dos conteúdos que pretendem ser divulgados. Estes dependem,

naturalmente, dos diferentes tipos de público-alvo a que se destinam. Para os especialistas os conteúdos terão muito mais importância do que o meio de divulgação, uma vez que aquilo que lhes interessa é o rigor científico da informação. De facto, para o arqueólogo as simulações em ambientes virtuais podem e devem ser entendidas como informação complementar aos mapas, plantas e cortes com os quais se encontra familiarizado.

Por sua vez, o estudante é especialmente sensível à forma como a informação lhe é transmitida. Para o grande público o interesse poderá residir essencialmente nos aspectos de inovação tecnológica, que complementam o conteúdo. Neste último caso, o conteúdo deverá conter informações de carácter geral que facilmente possam ser absorvidas por um público menos exigente.

No que diz respeito à aplicação de ambientes virtuais na reconstituição de espólio existem alguns projectos muito interessantes, como é o caso de [Steckner 00] e de [Brogni 00]. Um trabalho também particularmente válido nesta área está descrito em [Zheng 99] e em [Zheng 00]. Este projecto, que conta na sua equipa com arqueólogos, conservadores de museu e investigadores na área da Informática, usam a Computação Gráfica, os Ambientes Virtuais e o Multimédia para investigar a possibilidade de recuperar algumas relíquias desenterradas na China, no "Museum of the Terra Cotta Warriors and Horses". Este sítio arqueológico, que foi descoberto à cerca de 20 anos, possui uma equipa de oitenta pessoas a qual já pôs a descoberto aproximadamente 3000 esculturas das 8000 estimadas. Este projecto de recuperação, que utiliza Ambientes Virtuais, procura concretizar os seguintes objectivos:

- ² Digitalização do espólio escavado;
- ² Teste e utilização de técnicas de recuperação em Ambiente Virtual;
- ² Apresentar os resultados numa exposição virtual.

Muito embora a importância da reconstituição virtual do espólio de um arqueosítio seja indiscutível e mereça, segundo [Papaioannou 01], particular atenção por parte da Informática, a tecnologia dos Ambientes Virtuais é maioritariamente utilizada na reconstituição

de estruturas e edifícios desaparecidos ou em avançado estado de degradação.

Mas também no que diz respeito à reconstituição de sítios arqueológicos, existem casos em que os ambientes virtuais servem para representar o sítio em ruína. Um exemplo claro desta prática é o que se está a fazer no Sítio Romano de Sagalassos (Sudoeste da Turquia) [Pollefeys 00]. Há, também, projectos que procuram restituir as estruturas de uma forma mais completa, como é o caso da restituição da Domus Aurea de Nero e do Coliseu em Roma [Forte 00a], das termas de Badalona (Baetulo) [Costa 00], da reconstrução da cidade medieval Turku na Finlândia [Uotila 00] ou da reconstrução do castelo de Ferrara em Itália [Forte 00b].

Actualmente estão a decorrer vários projectos que utilizam os ambientes virtuais como uma interface para a investigação e análise arqueológica. Um destes projectos é o ARCHAVE, que é um sistema que representa todos os componentes de uma escavação arqueológica no contexto de uma reconstrução arquitectónica do Templo de Petra na Jordânia [Vote 00]. O ARCHEOGUIDE (Augmented Reality based Cultural Heritage On-site GUIDE) é um outro projecto que utiliza já a realidade aumentada para o estudo e divulgação de um sítio arqueológico ou de interesse cultural [Hildebrand 00]. Estes exemplos atestam, sem dúvida, a importância dos ambientes virtuais na Arqueologia e mostram, também, que o recurso a esta tecnologia está em fase crescente.

Capítulo 5

Projecto da Arquitectura do Sistema

5.1 Introdução

As evidências dos registos arqueológicos produzem pistas, que indicam aos arqueólogos o modo de vida das populações que viveram no passado. No entanto, a percepção e análise destes dados pode estar dificultada pelo facto de aparecerem em quantidades muito reduzidas, ou até mesmo pelo facto da paisagem, onde estas evidências foram encontradas, se ter alterado profundamente ao longo do tempo. Os avanços na visualização computacional têm fornecido importantes ferramentas para modelar aspectos multidimensionais, tais como o espaço e o tempo, a partir dos dados recolhidos pelos arqueólogos. As técnicas da Computação Gráfica podem ser utilizadas para reconstruir e visualizar as características de um sítio, que de outra forma seria difícil de apreciar. Esta perspectiva inovadora está a melhorar substancialmente a compreensão dos ambientes ocupados outrora por diferentes povos, bem como do seu modo de vida.

Apesar das imagens estáticas serem de extrema utilidade para fornecer algumas impressões acerca de um arqueosítio, a possibilidade de percorrer ambientes tridimensionais é, num grande número de situações, uma mais-valia preciosa para os arqueólogos. Tanto mais

que esta experiência pode ser enriquecida graças à natureza foto-realista dos modelos computacionais, que incluem importantes aspectos de iluminação e da presença de factores ambientais, de onde se pode destacar a produção de fumos, nevoeiros ou poeiras. É fundamental que tal sistema seja interactivo e responda, em tempo útil (preferencialmente em tempo real), às solicitações do utilizador.

A possibilidade de implementar um sistema que permita desenvolver a reconstrução tridimensional e a visualização foto-realista de um arqueosítio, de uma maneira interactiva, existe, a partir do momento em que se associa a Arqueologia à Informática, e muito em particular com a Computação Gráfica. Um tal sistema permite, por um lado, aos peritos (arqueólogos, historiadores e arquitectos) avaliar um vasto leque de hipóteses referentes à evolução e desenvolvimento do sítio arqueológico em estudo. Por outro lado, também o público leigo pode utilizar o mesmo sistema para apreender, de uma forma mais intuitiva, toda a informação relativa a um sítio arqueológico. Aliás, como é referido em [Sims 97], se os modelos tridimensionais forem construídos de uma forma rigorosa, a sua aplicação tanto pode ser para fins educacionais e lúdicos como para a investigação científica.

5.2 Definição do Objecto

Bracara Augusta, como o próprio nome indica, foi fundada pelo imperador Augusto, no final das Guerras Cantábricas, por volta do ano 16 a.C.

Bracara Augusta foi uma cidade muito importante que atingiu a sua máxima extensão por volta do século II e que terá sido sede de convento jurídico, bem como capital da província da Galécia. No entanto, a partir do século V Bracara Augusta sofreu uma série de invasões, primeiro pelos suevos, depois pelos visigodos e, muito provavelmente, pelos muçulmanos, que destruíram vastos sectores da cidade. Infelizmente, estas destruições terão continuado com o processo de reconquista cristã, iniciada por Afonso I das Astúrias, vindo a cidade medieval, de dimensões muito inferiores à cidade romana, a centrar-se em torno da Sé Catedral de Braga [Martins 00b].

O objecto deste estudo é, claramente, a cidade Bracara Augusta (ver Fig. 5.1) e será dada

particular atenção a duas estruturas:

- ² as termas públicas do Alto da Cividade;
- ² a casa romana das Carvalheiras.



Figura 5.1: Localização de Bracara Augusta

As termas públicas, que se localizam na colina do Alto da Cividade (ver Fig. 5.2 - lugar B), foram descobertas em 1977, graças a um conjunto de sondagens que se ...zeram nesse local. É o único balneário público de Bracara Augusta conhecido até ao momento e é, sem dúvida, uma importante estrutura que permite reconstituir o funcionamento de umas termas públicas romanas. Não obstante, é um edifício de difícil leitura, tendo em conta que ao longo dos séculos sofreu várias reparações e remodelações dos espaços [Martins 00c]. A casa romana das Carvalheiras ...ca a norte das termas públicas (ver Fig. 5.2 - lugar A) e foi identi...cada em 1983. Até ao momento, é a única casa romana totalmente escavada em Braga. De facto, a habitação das Carvalheiras é um precioso exemplo da arquitectura

romana privada. Tal como o edifício anterior, também este sofreu profundas alterações tanto a nível da sua estrutura, como a nível da sua funcionalidade. Este conjunto arqueológico é fundamental para o conhecimento do urbanismo e arquitectura privada romana da região nordeste da Península Ibérica [Martins 98a][Martins 00d].



Figura 5.2: Localização das Termas e da Casa das Carvalheiras

5.3 Definição do Problema

As intervenções arqueológicas em Braga, nos últimos vinte e cinco anos, produziram um manancial de informação extremamente vasto. Naturalmente, o facto de se estar na presença de muita informação acerca da cidade romana de Bracara Augusta é, globalmente, positivo. No entanto, a partir de certa altura, a gestão desta imensa quantidade de informação torna-se difícil, principalmente sem o apoio de ferramentas informáticas.

Uma primeira aproximação com vista a encontrar a resolução deste problema foi o desenvolvimento do SIABRA [Giestal 98]. Muito embora este sistema tenha contribuído, de

uma forma significativa, para a melhoria da gestão da informação e, consequentemente, para a investigação e interpretação dos dados existentes no sistema, subsistem ainda alguns problemas, ligados à representação tridimensional dos dados, que necessitam de resposta.

5.3.1 Validação

Um aspecto que se reveste de alguma problemática é a validação da restituição arquitectónica, que resulta de um trabalho conjunto entre arqueólogos e arquitectos. A capacidade de visualizar, em termos de volumetria e de espaço, uma restituição que se encontra representada em plantas, cortes e alçados, nem sempre é um problema apenas do público leigo. Por vezes a complexidade das estruturas de um sítio arqueológico é de tal ordem, que torna a sua interpretação difícil e, consequentemente, a sua reconstituição visual mental nem sempre é bem sucedida.

5.3.2 Divulgação

Como já foi referido anteriormente, um aspecto fundamental na sensibilização da população para a problemática da Arqueologia Urbana é a divulgação da informação, proveniente das escavações, depois de ter sido submetida a uma análise e interpretação rigorosa. Se para a comunidade científica ligada à Arqueologia o SIABRA cumpre bem esse papel de divulgação, já o mesmo não acontece para a generalidade da população.

De facto, tanto os dados de entrada como de saída do SIABRA são bidimensionais, pelo que esta informação não é de leitura fácil para um público leigo. Assim, o primeiro problema prende-se, precisamente, com a divulgação da informação arqueológica junto de um público alargado, por forma a garantir que essa informação seja efectivamente entendida, contribuindo assim para uma verdadeira democratização do saber.

Há ainda o problema da visualização da evolução de um conjunto de estruturas, bem como a integração na sua envolvente. De facto, a representação tradicional não contemplava a quarta dimensão de um sítio arqueológico, o espaço temporal, que é uma variável fundamental sempre presente numa intervenção arqueológica.

5.4 Definição dos Objectivos

O objectivo principal deste trabalho é a conceptualização de um Sistema de Ambientes Virtuais capaz de representar a cidade romana de Bracara Augusta, desde a sua fundação até ao seu declínio.

A concretização deste objectivo principal passa pela realização de objectivos parciais os quais estão directamente ligados aos problemas definidos na secção anterior (secção 5.3). Desta forma pretende-se realizar duas tarefas fundamentais para a Arqueologia Urbana:

- ² a validação das restituições arquitectónicas resultantes da interpretação dos dados arqueológicos;
- ² a divulgação dos resultados da investigação arqueológica.

É de notar que os modelos tridimensionais criados para o sistema de ambientes virtuais podem ser reutilizados em aplicações desenvolvidas para CD-ROM multimédia interactivo e, também, para o World Wide Web.

5.4.1 Validação

A validação dos modelos arquitectónicos resultantes da interpretação dos dados arqueológicos é um dos objectivos que mais interessa aos peritos.

Tradicionalmente, a restituição de uma estrutura arqueológica resulta de um trabalho cooperativo entre arqueólogos e arquitectos. Esta restituição ...ca, geralmente, registada sob a forma de desenhos que representam a planta, os alçados, os cortes e os pormenores construtivos do edifício reconstituído. A correcção destes desenhos, no entanto, só pode ser validada com a sua representação tridimensional.

Ao sistema de ambiente virtual estará associada uma base de dados de objectos tridimensionais. Assim, no caso de existir alguma incorrecção nos modelos propostos, rapidamente estes se podem alterar, recorrendo a essa base de dados.

Para além de uma base de dados de objectos tridimensionais, o sistema prevê a existência de um repositório de texturas. Desta forma, não só será possível validar os modelos do ponto de vista da sua geometria e consequente volumetria, mas também relativamente ao seu aspecto exterior (por exemplo, tipo de revestimento das paredes, cor, tipo de madeira utilizada, etc.).

5.4.2 Divulgação

A disseminação dos resultados de investigação é um objectivo fundamental em Arqueologia e, muito em particular, no projecto de Bracara Augusta.

De facto, os ambientes virtuais a...guram-se como meios ideais para a divulgação dos resultados das escavações e da investigação, tendo em conta as enormes possibilidades desta tecnologia. O utilizador deste sistema terá então oportunidade de navegar pela reconstituição virtual da cidade de Bracara Augusta e interagir com os diferentes objectos que lá podem estar representados. Por interacção compreende-se um conjunto de acções como manipulação, remoção, inserção de novos objectos, alteração do seu posicionamento e obtenção de informação acerca do objecto que está a ser manipulado.

Para além de ser possível viajar virtualmente pelo espaço que representa a cidade de Bracara Augusta, e desde que estejam presentes na base de dados objectos e estruturas com diferentes cronologias, será também possível efectuar uma viagem pelo tempo para analisar as transformações que foram operadas ao longo dos seus cinco primeiros séculos de existência.

5.5 Arquitectura do Sistema

Depois de identi...car claramente o objecto, de analisar o problema a ele inerente e de traçar os objectivos fundamentais deste estudo, importa de...nir, também, a arquitectura do sistema de ambientes virtuais para Bracara Augusta.

A Fig. 5.3 representa a arquitectura do sistema, com todos os seus componentes e suas

relações.

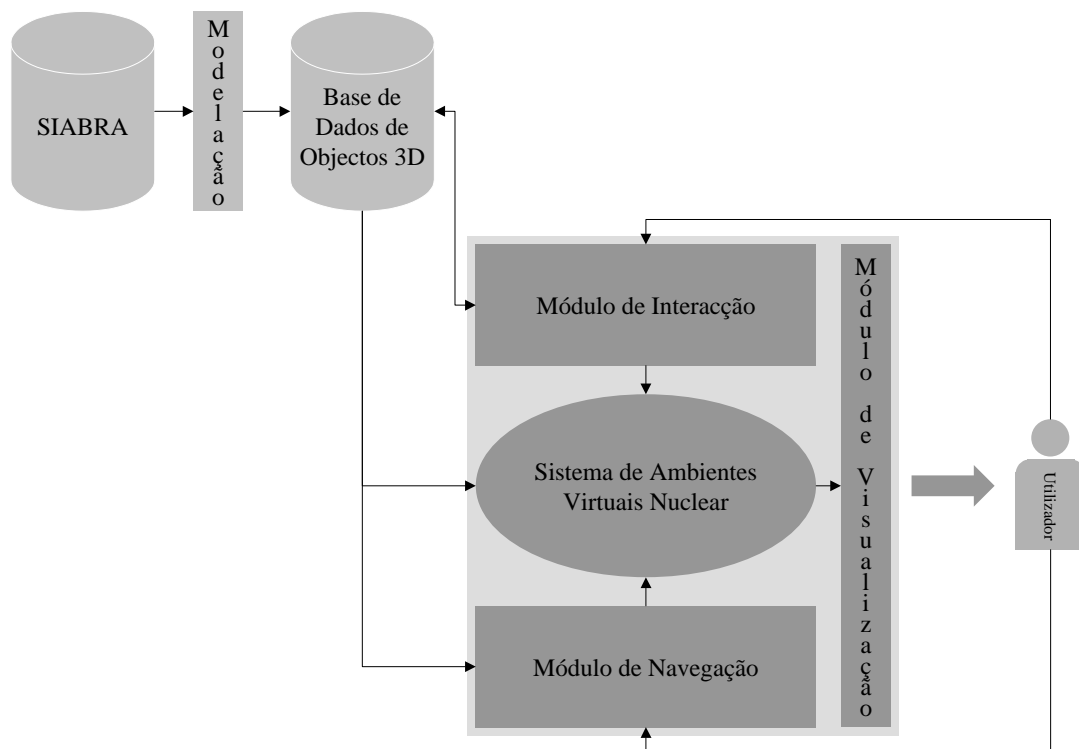


Figura 5.3: Arquitectura do Sistema

A arquitectura do Sistema de Ambientes Virtuais para Bracara Augusta é constituída por um Sistema de Ambientes Virtuais nuclear e por três módulos que são responsáveis pela visualização, interacção e navegação. Faz também parte da arquitectura deste sistema uma base de dados de objectos 3D.

Note-se que o SIABRA também é um componente do sistema, porque só assim se pode garantir o acesso a todos os dados referentes a Bracara Augusta e o rigor dessa informação. Mais, tendo em conta que os dados do SIABRA estão geo-referenciados e que numa primeira fase a tarefa de modelação se vai basear nesses dados, pode-se garantir que o cenário virtual criado esteja também correctamente geo-referenciado.

5.5.1 Sistema de Ambientes Virtuais Nuclear

O Sistema de Ambientes Virtuais Nuclear é um componente extremamente importante, pois constitui o núcleo de todo o sistema. De facto, este tanto pode ser desenvolvido a partir de ferramentas já existentes, como é o caso do Virtual Design [VRCOM 99] ou do MAVERIK [Hubbold 01], como pode ser implementado a partir de uma linguagem de programação, e.g. o VRML [Hartman 96]. Em qualquer dos casos, é fundamental que o sistema nuclear já possua um conjunto mínimo de funções que permitam a implementação dos módulos de visualização, navegação e interacção.

5.5.2 Módulo de Visualização

O módulo de visualização é um componente que será responsável pela visualização do cenário virtual. Por um lado, este módulo vai controlar os dispositivos de saída que podem estar associados a este sistema (fundamentalmente o écran, a mesa virtual e a CAVE), por outro lado, terá a seu cargo os métodos de rendering, que produzirão, em cada instante, uma imagem do cenário virtual.

5.5.3 Módulo de Navegação

O módulo de navegação é responsável por permitir a um utilizador percorrer todo o espaço do cenário virtual em tempo real. Os tipos de navegação irão depender dos que estão implementados no sistema de ambientes virtuais nuclear.

A navegação cronológica, tendo em conta a sua especificidade, não será controlada por este módulo.

5.5.4 Módulo de Interacção

O módulo de interacção é o componente mais complexo deste sistema, porque é aquele que permite a interface com o utilizador. A Fig. 5.4 mostra, de uma forma esquemática, a composição deste módulo.

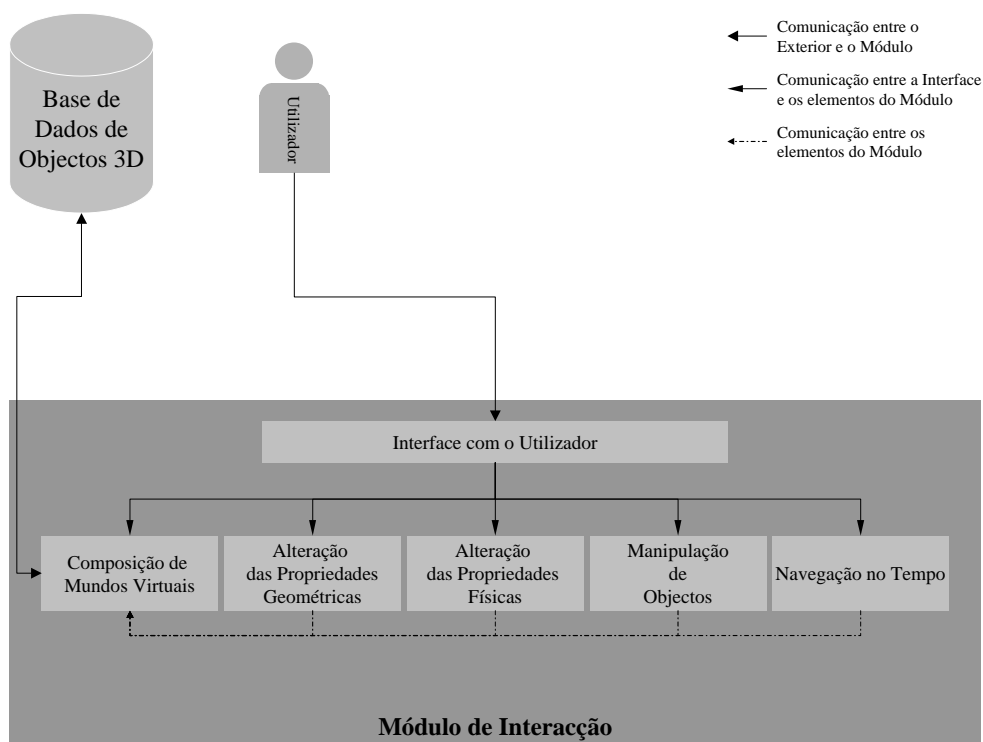


Figura 5.4: Módulo de Interação

Interface com o Utilizador

A Interface com o Utilizador é o sub-módulo de interacção responsável por tratar os eventos solicitados pelos utilizadores do sistema. Assim que a interface com o utilizador recebe um evento, este é canalizado para um outro sub-módulo, de acordo com a sua tipologia.

Composição de Mundos Virtuais

Este sub-módulo tem a seu cargo a composição dos mundos virtuais, de acordo com as solicitações do utilizador. Depois de analisar quais os objectos 3D que devem fazer parte do mundo virtual que se está a criar, este contacta com a Base de Dados de Objectos 3D e carrega os modelos 3D em questão. O utilizador pode então operar as alterações que achar por bem e, se assim o entender, guardar as mesmas novamente na Base de Dados de Objectos 3D.

Navegação no Tempo

Este sub-módulo vai permitir a navegação numa quarta dimensão que é o tempo. O utilizador escolhe a época que quer conhecer de Bracara Augusta, este sub-módulo comunica essa informação ao sub-módulo Composição de Mundos Virtuais, que por sua vez vai buscar a informação solicitada à Base de Dados de Objectos 3D. Desta forma, um utilizador pode analisar a evolução da cidade de uma forma simples e interactiva.

Manipulação de Objectos

O sub-módulo Manipulação de Objectos é responsável por um conjunto de operações que não visam alterações geométricas ou físicas e que se podem resumir à translação e rotação de objectos. Combinando estas duas transformações, o utilizador pode manipular e visualizar da melhor forma todos os objectos seleccionados.

Se assim o entender, o utilizador pode guardar estas alterações na Base de Dados de Objectos 3D, por intermédio do sub-módulo de Composição de Mundos Virtuais.

Alteração de Propriedades Físicas

Este sub-módulo de interacção vai permitir ao utilizador fazer alterações nas propriedades materiais dos objectos que compõem o cenário virtual, bem como modificar o modelo de iluminação utilizado na restituição da cidade romana.

Muito embora todos os utilizadores tenham a liberdade de alterar as características físicas dos objectos, é recomendável que esta alteração seja apenas concretizada por especialistas, por forma a garantir a preservação do rigor científico dos modelos reconstruídos.

Também aqui, estas alterações podem ser guardadas na Base de Dados de Objectos 3D.

Alteração de Propriedades Geométricas

Este sub-módulo também é de grande interesse, principalmente, para um utilizador especialista, na medida em que lhe permite alterar as propriedades geométricas dos objectos

e, assim, as suas dimensões e até formas dos modelos recriados numa fase inicial.

Tal como foi referido para o sub-módulo anterior, as alterações devem ser efectuadas por utilizadores que não ponham em causa a qualidade científica da reconstituição virtual dos modelos que compõem a cidade romana.

Depois de efectuadas as alterações, estas poderão ser guardadas na Base de Dados de Objectos 3D.

5.5.5 Base de Dados de Objectos 3D

A base de dados de objectos 3D é um repositório de objectos 3D. Estes objectos são criados com algumas ferramentas de modelação adequadas e a partir da informação que está disponível no SIABRA.

Era importante, para facilitar a comunicação com o SIABRA e para garantir o armazenamento de informação estruturada e de alta disponibilidade, que esta base de dados fosse implementada em ORACLE. No entanto, este repositório pode ter também uma implementação mais simples que se baseie, apenas, num armazenamento hierárquico dos modelos numa estrutura de directorias. Esta última hipótese funciona relativamente bem para o caso de estarmos perante um número reduzido de objectos 3D, mas tem como grande desvantagem o facto de não permitir o cruzamento adequado de informação associada aos modelos 3D.

Capítulo 6

O Caso de Bracara Augusta

Como já foi referido anteriormente (ver capítulo 2), a evolução urbana da cidade de Braga ditou, em alguns casos, a destruição de importantes vestígios arqueológicos acerca da ocupação romana desta cidade. Este facto transformou a interpretação arqueológica, já por si bastante difícil e subjectiva, numa tarefa extremamente delicada.

Por este motivo, a reconstituição virtual da antiga cidade romana de Bracara Augusta foi, e continuará a ser, uma tarefa complexa, que sofrerá uma evolução constante à medida que forem descobertos novos vestígios, os quais produzirão mais informação para enriquecer e completar a reconstituição actual.

O modelo tridimensional de Bracara Augusta surgiu a partir de um processo construtivo que compreendeu um conjunto de tarefas, as quais podem ser agrupadas nas seguintes fases:

- ² Análise dos dados existentes;
- ² Modelação das estruturas e do terreno envolvente;
- ² Texturação dos modelos;
- ² Integração dos modelos das estruturas no modelo do terreno;
- ² Definição de um modelo de iluminação adequado à cena virtual;

² Visualização da reconstituição virtual de Bracara Augusta.

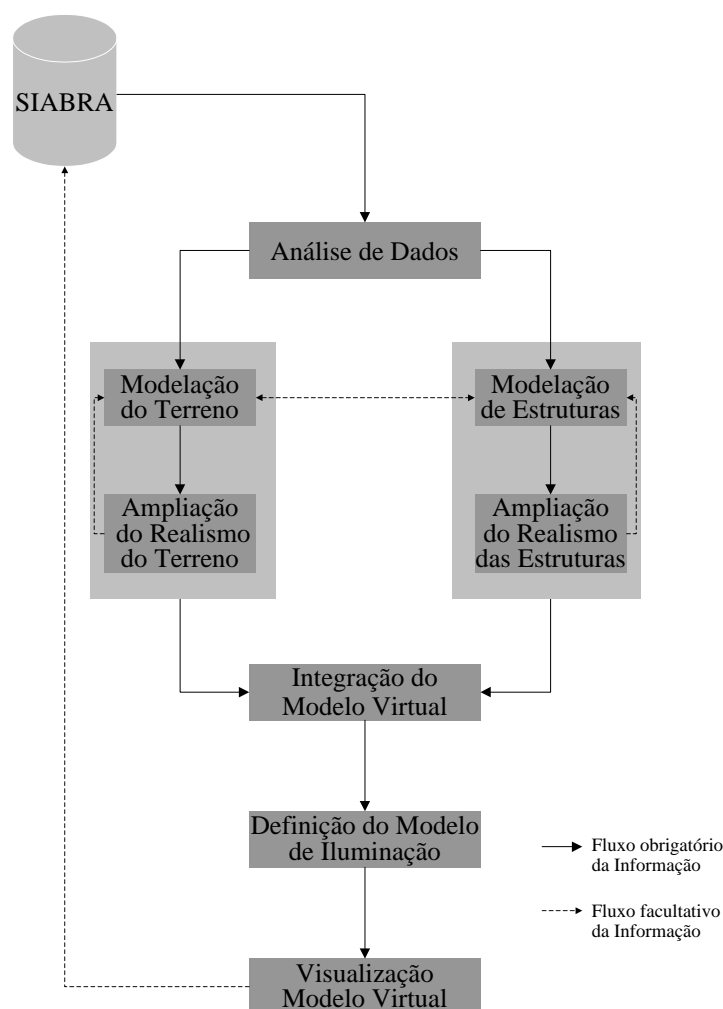


Figura 6.1: Metodologia aplicada na restituição de Bracara Augusta

A Fig. 6.1 representa, de uma forma esquemática, a metodologia aplicada ao caso de Bracara Augusta para recriar virtualmente esta cidade romana a partir dos dados existentes no SIABRA. Todo este processo de reconstituição virtual começa com a análise dos dados arqueológicos, seguindo-se o desenvolvimento dos modelos virtuais. Depois, é realizada a integração de todos os modelos num cenário virtual único e de...nido o modelo de iluminação mais adequado ao cenário. Por último é feita a visualização de toda a

reconstituição virtual.

6.1 Análise de Dados

A análise dos dados provenientes das escavações e já devidamente interpretados é, de facto, o ponto de partida para todo o processo de reconstrução virtual de Bracara Augusta.

Estes dados estão disponíveis no SIABRA e materializam-se da seguinte forma:

- ² Plantas das escavações;
- ² Alçados, planos e cortes das estruturas escavadas;
- ² Valores de cotas de terreno;
- ² Informação fotogr...ca;
- ² Informação escrita;
- ² Plantas, cortes e alçados resultantes da interpretação dos dados das escavações.

É, principalmente, este último tipo de informação que vai ser preponderante na modelação tridimensional das estruturas que foram encontradas em Bracara Augusta. São estes dados que vão dar forma à cidade que ...cou parcialmente destruída a partir do século V.

Todos os outros elementos são necessários para, com rigor, aumentar o grau de realismo e de pormenor dos modelos tridimensionais das estruturas que compõem o modelo virtual de Bracara Augusta.

A análise de todos estes dados foi de capital importância para:

- ² Compreender a dimensão e complexidade de Bracara Augusta;
- ² Hierarquizar correctamente os modelos das estruturas;
- ² De...nir o grau de detalhe na construção de cada modelo tridimensional;
- ² Estabelecer os níveis de detalhe mais adequados para a visualização.

6.2 Desenvolvimento dos Modelos Virtuais

Como já foi mencionado anteriormente (secção 6.1), os dados mais importantes para restituir volumetricamente Bracara Augusta são as plantas, cortes e alçados existentes sobre as estruturas encontradas. A partir destes dados, procurou-se modelar geometricamente todos os edifícios e infra-estruturas conhecidas da cidade romana fazendo uso da técnica de modelação de sólidos conhecida por Geometria de Sólidos Construtiva (Constructive Solid Geometry - CSG) [Mäntylä 88].

A Modelação de Sólidos é uma área da Modelação Geométrica que surgiu da necessidade de representar objectos enquanto sólidos. Os modelos CSG são obtidos a partir de primitivas sólidas simples que se combinam através de um conjunto de operações, que estão incluídas na sua representação. Assim, um objecto desenvolvido usando CSG é representado por uma estrutura de árvore, com operações entre sólidos nos seus nós e primitivas simples nas suas folhas. Enquanto alguns nós representam operações booleanas regulares, outros representam transformações geométricas, tais como a translação, a rotação e a variação de escala. As operações booleanas em questão são:

² A intersecção ($A \cap B$);

² A reunião ($A \cup B$);

² A diferença ou subtracção ($A \setminus B$ ou $B \setminus A$).

O terreno que envolve a cidade romana foi recriado usando as curvas de nível de uma mapa do século XIX. Tendo em conta a natureza destes dados, o tipo de modelação que será aplicada neste caso não será a modelação de sólidos, mas sim, a modelação de superfícies. No caso do terreno de Bracara Augusta, a modelação de superfícies consiste em recriar uma superfície a partir de um conjunto infinito de pontos existentes no espaço.

6.2.1 Estruturas Arquitectónicas e Infra-estruturas

A reconstituição tridimensional da Casa das Carvalheiras e das Termas Públicas do Alto da Cidade constituíram um exercício bastante complexo que obedeceu a uma metodologia comum, apresentada nos parágrafos seguintes e representada na Fig. 6.2.

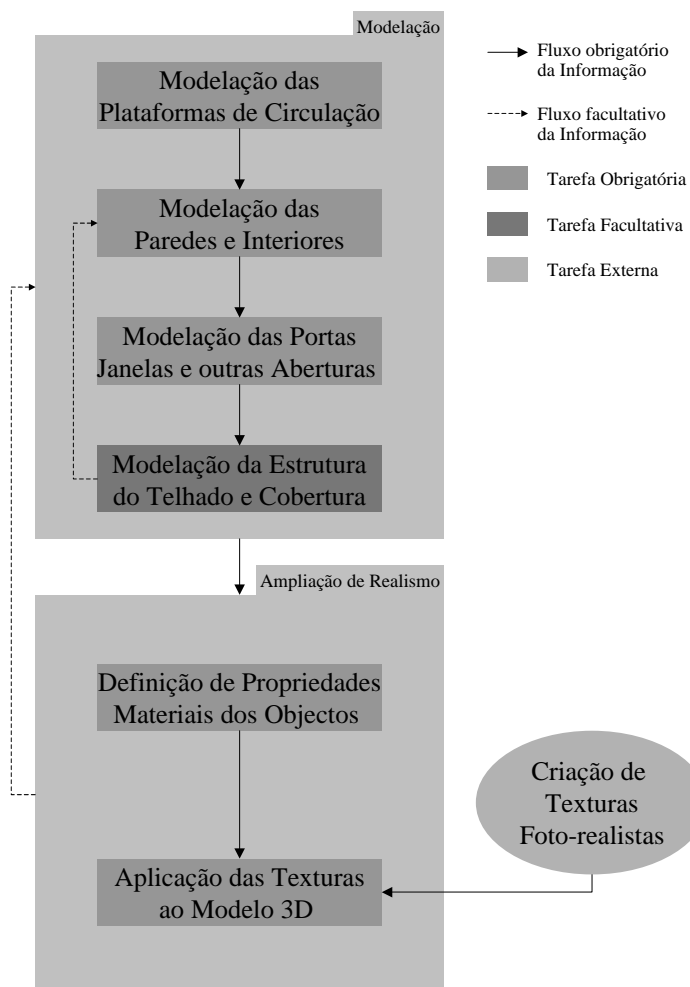


Figura 6.2: Metodologia utilizada na reconstrução tridimensional

A reconstituição tridimensional das estruturas de Bracara Augusta é desenvolvida em duas fases:

² Modelação – procura reconstituir o modelo geométrico de cada componente de uma

estrutura, recorrendo às técnicas de CSG;

- ² Ampliação do Realismo – procura aumentar o realismo do modelo geométrico desenvolvido na fase anterior.

Modelação

Os modelos tridimensionais das estruturas arquitectónicas foram desenvolvidos utilizando o MicroStation 95 da Bentley [Olson 96] e o Caligari trueSpaceTM4 v4.3 [Cal 98].

Nas estruturas arquitectónicas de Bracara Augusta, o primeiro passo consistiu em modelar as plataformas de circulação dos edifícios, com base na informação da planta dos mesmos e no valor das cotas de terreno. Assim, como se pode observar na Fig. 6.3, o chão de cada edifício é representado por um conjunto de cubos cuja forma inicial foi modificada por transformações geométricas apropriadas. No caso particular das infra-estruturas de Bracara Augusta este primeiro passo consistiu em adaptar o traçado, tanto da Muralha como das ruas, à morfologia do terreno, que na circunstância é bastante irregular.



Figura 6.3: Representação dos Pavimentos de Circulação à Cota Exacta

O passo seguinte nesta fase de criação dos modelos virtuais consiste em recriar as paredes interiores e exteriores do edifício. Estas paredes também são modeladas a partir de cubos, aos quais são aplicadas transformações geométricas, que os posicionam correctamente no modelo e lhe dão a forma aproximada (ver Fig. 6.4). Depois, e tendo em conta a informação

dos alçados e dos cortes, são criados sólidos que têm os contornos das janelas, das portas ou de outras aberturas e com espessura superior à das paredes do modelo. Estes objectos vão depois cruzar as paredes nos sítios onde estão localizadas as diferentes aberturas e, com o auxílio de operações de subtracção, são criadas nas paredes dos edifícios as respectivas portas e janelas (ver Fig. 6.5).

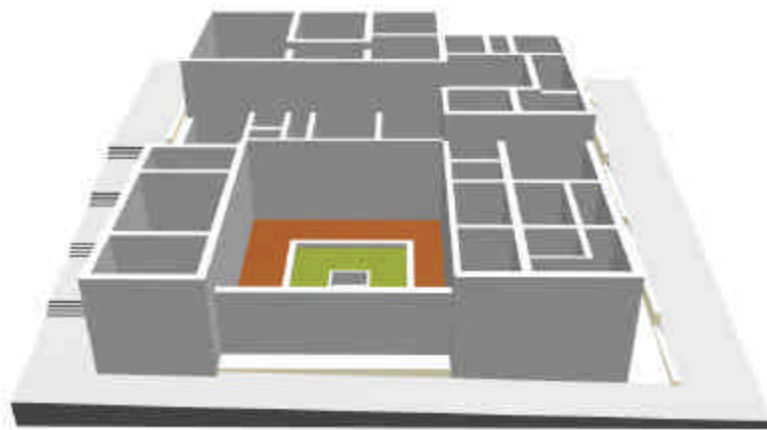


Figura 6.4: Representação das Estruturas de um edifício



Figura 6.5: Representação de Aberturas nas Paredes Interiores e Exteriores

O passo seguinte consiste em modelar, ainda tendo em conta a informação das plantas, alçados e cortes, a estrutura que suportava o telhado. Esta estrutura é modelada, mais uma vez, a partir de uma forma simples, na circunstância um cubo, que é modi...cado a partir de

operações booleanas e transformações geométricas até atingir a forma desejada. Depois é posicionada sobre o modelo já existente, que posteriormente é coberto com objectos modelados que representam as telhas romanas (as tegulae). O efeito final da modelação pode ser observado na Fig. 6.6. Para as infra-estruturas, este último passo é dispensável.



Figura 6.6: Representação do Modelo Completo de um Edifício Romano

Frequentemente, após a modelação da estrutura do telhado e da cobertura, verifica-se a necessidade de proceder a alguns ajustes, no que diz respeito à modelação das paredes e de interiores.

Assim, o modelo geométrico das Termas é composto por 49826 vértices e 42309 faces, que se agrupam em 2645 objectos diferentes. O ficheiro onde está guardada a reconstituição virtual das Termas ocupa aproximadamente 4.2 MB em disco. O modelo da Casa das Carvalheiras, sendo uma casa de habitação, e por conseguinte possuindo maior complexidade arquitectónica, é composta por 117578 vértices, 97349 faces e 3201 objectos. O tamanho do ficheiro é cerca de 8.2 MB. A reconstituição da Muralha romana possui 70613 vértices e 47139 faces.

Durante toda a fase de modelação existiu sempre a preocupação de estabelecer uma hierarquia correcta entre os vários objectos para facilitar, mais tarde, todo o processo de rendering e de animação de objectos que compõem os modelos.

Introdução de maior Realismo

As propriedades materiais são um aspecto fundamental, no que concerne ao grau de realismo com que se pretende visualizar um cenário virtual, tendo em conta que o material é a informação atribuída a um objecto para que este tenha uma determinada aparência. Para o modelo virtual de Bracara Augusta foram definidos 120 materiais diferentes.

A hierarquização da cena é, também aqui, importante para a tarefa de definição das propriedades materiais dos diferentes objectos. Na verdade, o modelo virtual vai ficar estruturado em árvore, onde as folhas representam todos os objectos da cena, e os nós correspondem a agrupamentos de objectos que possuem o mesmo tipo de material. Desta forma, o processo de atribuição das características materiais aos diferentes objectos está facilitado. Mais ainda, fica minimizada a hipótese de se esquecer de atribuir, ou de atribuir erradamente, características materiais a algum objecto.

Assim, para todos os objectos, que compõem a reconstituição virtual de Bracara Augusta, são definidas as respectivas propriedades materiais, cujos parâmetros são os seguintes:

- ² Cor – de entre os vários modelos de cor utilizados em Computação Gráfica [Foley 90], este trabalho usa o modelo de cor RGB (Red, Green, Blue), pelo que cada cor possui um determinado valor (entre 0 e 255) de Vermelho, Verde e Azul;
- ² Reflexão difusa e especular – a reflexão difusa reflecte uniformemente a luz de uma superfície de um objecto, enquanto que a reflexão especular reflecte a luz com maior intensidade no ponto onde a fonte luminosa incide;
- ² Índice de Refracção – o índice de refração de um material corresponde à razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no interior do material de um objecto;
- ² Brilho e Transparência – o brilho corresponde à capacidade que um objecto ou superfície têm para reflectir a luz, enquanto que a transparência está relacionada com a maior ou menor de opacidade de um objecto.

A tarefa da texturação de um modelo tridimensional começa com a criação de texturas que conferem ao modelo um aspecto mais realista. Este processo é naturalmente facilitado quando as estruturas encontradas, durante a intervenção arqueológica, se encontram em bom estado de conservação. Neste caso, as texturas são obtidas a partir de fotografias que são tiradas às estruturas, que depois de digitalizadas são tratadas num sistema de processamento de imagem. Note-se que também se pode utilizar máquinas fotográficas digitais, poupando assim o passo da digitalização. No entanto, a qualidade das fotografias obtidas com máquinas fotográficas convencionais é, geralmente, superior.

No caso de Bracara Augusta, no entanto, não é muito frequente encontrar estruturas que possam servir de base para texturas realistas. Aqui, e porque a arquitectura e o urbanismo romano obedeciam a regras muito claras, a criação de texturas passa por um processo de pesquisa de sítios que possuam estruturas semelhantes e contemporâneas às de Bracara Augusta. O levantamento fotográfico dessas estruturas e o posterior tratamento digital permite, então, a obtenção de texturas adequadas ao modelo 3D.

As texturas produzidas para a reconstituição virtual de Bracara Augusta são cerca de 40, obtidas a partir de outro tanto número de imagens, cujos ficheiros ocupam cerca de 12 MB.

A aplicação das texturas ao modelo 3D analisa a tarefa da texturação e consiste num processo simples. Num primeiro passo adapta-se a textura criada à face ou faces que se pretende "revestir" e depois "cola-se" essa textura à face ou faces em questão.

6.2.2 Terreno Envolvente

A reconstituição do terreno envolvente de Bracara Augusta foi uma tarefa demorada que se baseou na metodologia descrita nos parágrafos seguintes e representada na Fig. 6.7.

Tal como se pode verificar na reconstituição de estruturas, também a reconstituição do terreno envolvente é composta pela fase da modelação e da ampliação de realismo. As tarefas em cada uma destas fases são muito semelhantes às tarefas descritas para a reconstituição de estruturas. Note-se, no entanto que a fase de modelação não é desenvolvida

recorrendo a técnicas de CSG, mas antes a técnicas de modelação de superfícies.

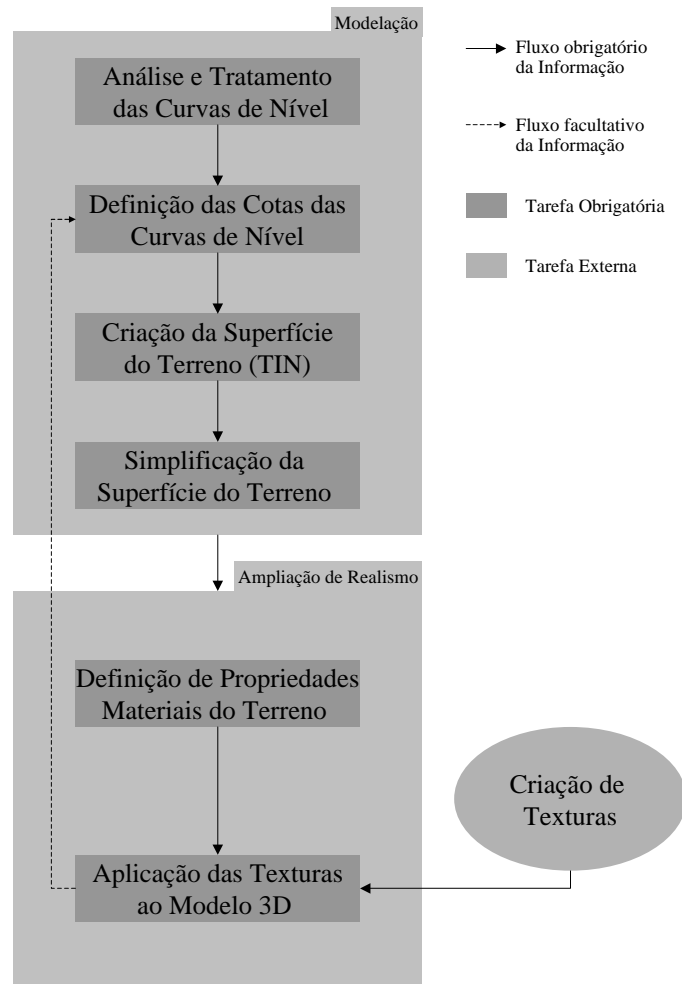


Figura 6.7: Metodologia para a reconstituição do Terreno

Modelação

A modelação do terreno envolvente foi desenvolvida utilizando, também, o MicroStation 95 da Bentley para o tratamento bidimensional da informação. O modelo 3D do terreno foi obtido com o AutoCAD[®] Land Development Desktop R2 da Autodesk [Aut 99].

O primeiro passo da modelação do terreno que envolve a cidade de Bracara Augusta

consistiu em analisar a base cartográfica do século XIX que existe sobre a área em questão e efectuar algum trabalho de pós-processamento das curvas de nível do mapa, usando o MicroStation 95. O pós-processamento das curvas de nível consistiu em uniformizar toda esta informação, transformando-as todas em linhas poligonais fechadas, como se pode observar na Fig. 6.8. Apesar desta tarefa não se revestir de nenhuma dificuldade, não deixa de ser uma tarefa morosa e delicada. O primeiro passo consistiu em remover toda a informação excessiva (e.g. curvas de nível sobrepostas ou segmentos de recta que não pertencem a nenhuma curva de nível) que estava na representação desta base cartográfica. Depois desta operação de "limpeza", seleccionava-se um conjunto de pontos e segmentos de recta que constituíam uma curva de nível e transformava-se esta numa linha poligonal fechada. Esta operação foi repetida para todas as curvas de nível representadas.



Figura 6.8: Curvas de Nível do Terreno de Bracara Augusta com base na Cartografia do Séc. XIX

Seguidamente, estas curvas de nível foram exportadas para o AutoCAD[®] Land Development, onde cada uma delas foi colocada à respectiva cota (ver Fig. 6.9). Na fase

anterior, as curvas de nível estavam representadas bidimensionalmente, ou, para ser mais exacto, todas as curvas de nível tinham o mesmo valor na coordenada¹ z. Agora, esta tarefa consiste em fazer a translação de cada curva de nível para a respectiva cota, ou seja, atribuir à coordenada z o valor correcto.

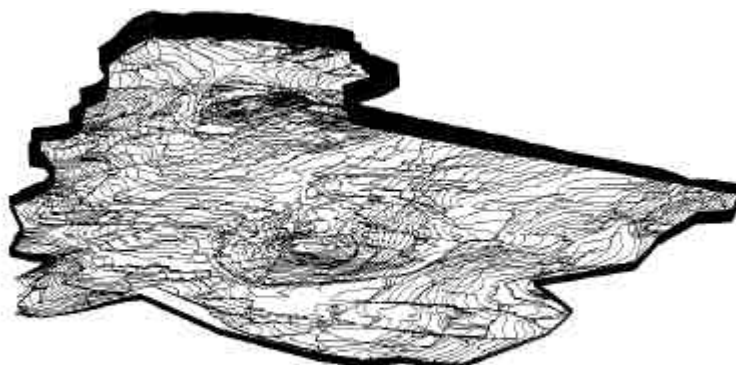


Figura 6.9: Curvas de Nível à Cota Respectiva

Utilizando, depois, as ferramentas do AutoCAD[®] Land Development para a criação de terrenos, foi modelada uma superfície que corresponde ao terreno da área envolvente de Bracara Augusta, representada através de uma rede irregular de triângulos (Triangulated Irregular Network – TIN), como se pode observar na Fig. 6.10. Esta representação possui 101781 vértices e 33927 faces e está armazenada num ficheiro com aproximadamente 3.5 MB.

Para diminuir o número de polígonos da superfície do terreno, transformou-se a superfície, constituída por uma rede de triângulos, numa superfície de malha de quadriláteros (ver Fig. 6.11). Apesar de se verificar uma diminuição de precisão no modelo do terreno, este passo é extremamente vantajoso uma vez que se reduz para cerca de um quarto o número de faces, num total de 8702. Desta forma contribui-se para um melhor desempenho computacional de todo o modelo de Bracara Augusta virtual.

¹Cada ponto das curvas de nível é da forma (x,y,z) , em que x, y e z pertencem ao conjunto dos números reais.

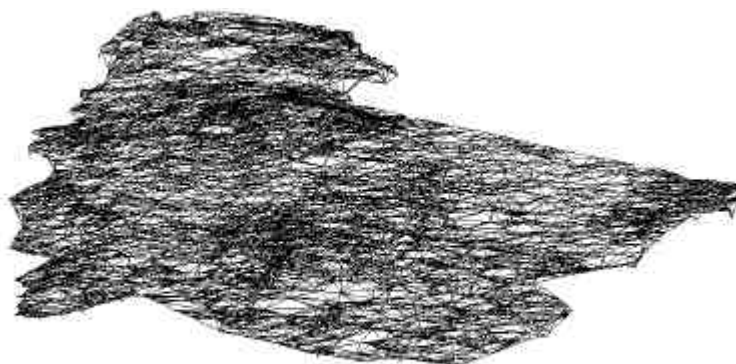


Figura 6.10: Modelo do Terreno de Bracara Augusta

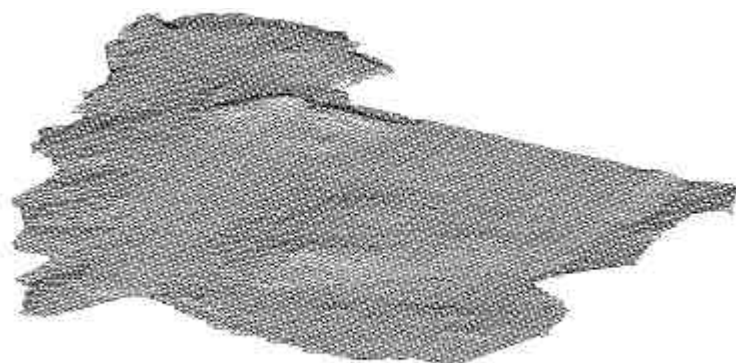


Figura 6.11: Simplificação do Modelo do Terreno de Bracara Augusta

Introdução de maior Realismo

Todo o processo para incrementar o realismo visual do terreno é semelhante ao descrito para o caso da modelação de estruturas arquitectónicas. Também para o terreno é necessário definir uma cor, atribuir um valor adequado à reflexão difusa e especular, ao brilho e à transparência e, ainda, estabelecer o valor ideal para o índice de refração.

A texturação deste modelo é realizada com uma textura que resulta da combinação de duas imagens. São imagens bastante simples que ocupam apenas 1.2 MB.

A Fig. 6.12 mostra o aspecto visual do modelo de superfície que representa o terreno da Braga Romana para esta reconstituição virtual.



Figura 6.12: Aspecto Final do Modelo do Terreno de Bracara Augusta

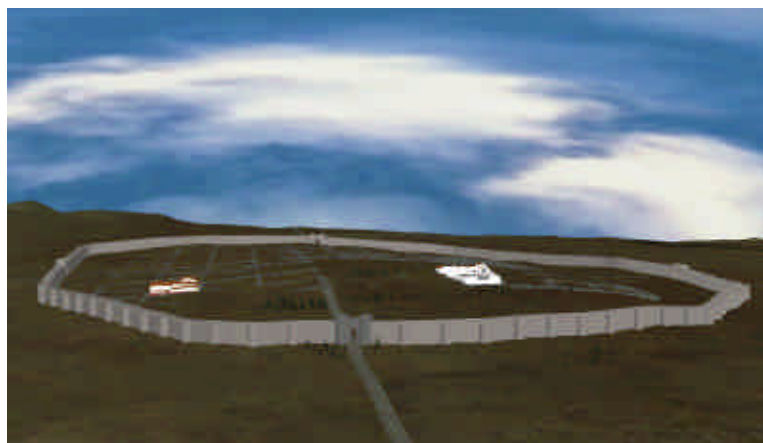


Figura 6.13: Integração da Informação

6.3 Integração da Informação

A integração dos modelos tridimensionais consistiu em posicionar as diferentes estruturas e infra-estruturas correctamente sobre o modelo do terreno de Bracara Augusta.

Naturalmente, que existem sempre alguns ajustes e adaptações que se têm de fazer quando se integram as estruturas e infra-estruturas num terreno, mas, tendo em conta que todo o trabalho feito anteriormente, desde o levantamento dos dados no sítio arqueológico à integração da informação no SIABRA, foi sempre de elevado rigor e qualidade, esta tarefa

não se revelou de execução difícil. Na Fig. 6.13 podemos observar o efeito ...nal da integração da informação.

Para além dos modelos rigorosos que foram criados, houve também necessidade de desenvolver modelos de edifícios simpli...cados, com os quais se preencheram todos os quarteirões de Bracara Augusta e sobre os quais ainda não existe informação, ou os seus dados ainda não foram convenientemente analisados e interpretados (ver Fig. 6.14). Todo o modelo virtual de Bracara Augusta possui 632725 vértices, 443223 faces e ocupa cerca de 45 MB.



Figura 6.14: Reconstrução Global de Bracara Augusta

6.4 Modelo de Iluminação

Um modelo de iluminação pretende ser um meio para aumentar o realismo visual de um cenário virtual. Para isso, é feita uma combinação de diferentes tipos de luz e fontes de luz, tais como:

- ² Luz Ambiente – luz ...ctícia e intrínseca ao objecto visualizado, visto que é utilizada para descrever um mundo irrealista de objectos não-refectivos e auto-iluminados;

- ² Fonte de Luz Direccional – fonte de luz que está a uma distância muito grande dos objectos e cujos raios, por essa razão, são paralelos entre si;
- ² Fonte de Luz Pontual – fonte de luz que é emitida a partir de um único ponto para todas as direcções. Um caso particular deste tipo de fonte luminosa é conhecida por spotlight e tem a particularidade de iluminar, apenas, uma parte bem definida de um objecto, criando uma mancha (spot) de luz.

No caso da reconstituição virtual de Bracara Augusta, o modelo de iluminação encontrado despreza a componente da luz ambiente e combina apenas a fonte de luz direccional com a fonte de luz pontual. Desta forma, o modelo de iluminação resulta numa maior aproximação à realidade.



Figura 6.15: Iluminação Global do Espaço

O modelo de iluminação encontrado para a reconstituição virtual de Bracara Augusta compreende uma fonte de luz direccional, posicionada estrategicamente na cena e com a qual se consegue simular o Sol e, consequentemente, a iluminação global do espaço (ver Fig. 6.15).

Para além das fontes de luz direccionais, foram utilizadas fontes de luz pontuais de modo a simular a iluminação associada aos edifícios do modelo virtual. A diferente combinação deste tipo de luz conseguiu produzir um conjunto de sombras, tornando mais realistas os interiores dos compartimentos e dos espaços dos conjuntos arquitectónicos que foram reconstituídos.

6.5 Visualização do Modelo Virtual

A tarefa de visualizar o modelo virtual foi iniciada depois de analisados os processos de modelação das estruturas de Bracara Augusta e de aperfeiçoamento do realismo dos modelos produzidos. Como se mostra a seguir, foram testadas três ferramentas distintas para visualizar a reconstituição virtual de Bracara Augusta.

Como foi mencionado logo no início deste trabalho, todos os modelos foram convertidos para modelos em formato VRML 2.0 [Hartman 96]. Esta foi a forma mais rápida de implementar um ambiente virtual, onde um utilizador pode interagir e navegar por um cenário totalmente virtual. A tarefa de conversão foi realizada com o Caligari trueSpaceTM 4 v4.3.

O VRML 2.0 introduziu, também, um conjunto de funções - os Interpoladores - que permitem controlar a animação de objectos. Estes interpoladores permitem criar animações pré-definidas de vários aspectos de um mundo, que podem ser activadas em qualquer altura. Com os interpoladores é possível criar objectos com movimentos, como portas que se abrem, objectos que mudam de cor à medida que o tempo passa (simulação do Sol) e, até, objectos que se transformam noutros objectos. Podem até ser criadas visitas guiadas ao mundo virtual usando caminhos pré-definidos que permitam apresentar esse novo ambiente ao utilizador.

No entanto, não obstante todas estas vantagens, o VRML 2.0 possui ainda algumas pequenas lacunas, nomeadamente, no que diz respeito ao rendering do cenário e ao tipo de dispositivos de interacção que se podem usar para manipular a cena, pelo que se procurou utilizar, também, outras ferramentas para efectuar a visualização de Bracara Augusta Virtual. Estas desvantagens põem naturalmente em causa a utilização do VRML para a

implementação deste sistema.

Uma outra ferramenta utilizada na visualização de Bracara Augusta Virtual foi o MAVERIK 6.1 [Hubbold 01]. O MAVERIK é, efectivamente, um kernel que pode ser utilizado como sistema de ambiente virtual nuclear, para a arquitectura proposta.

As vantagens do MAVERIK residem precisamente no facto de estar disponível para praticamente todos os sistemas operativos existentes, possibilitando assim um suporte alargado a quase todas as plataformas e de aceitar o VRML 2.0 como formato de ...cheiro dos objectos. No entanto, apesar de aceitar o VRML 2.0 como formato de entrada, não suporta as funcionalidades do VRML 2.0, o que diminui o seu desempenho.

Por último foi testado também o Virtual Design 2 [VRCOM 99], um sistema de ambiente virtual extremamente completo que suporta todo um conjunto de dispositivos de entrada e de saída que se adaptam bastante bem às necessidades da arquitectura apresentada.

Para visualizar toda a reconstrução virtual de Bracara Augusta é necessário transformar o modelo para o formato Fraunhofer Standard (FhS), que é um formato de ...cheiro utilizado nos institutos da Fraunhofer Gesellschaft para aplicações de ambientes virtuais. Depois de converter os modelos, usando o Genesis², estes podem ser lidos pelo Virtual Design 2. Este processo de conversão não é difícil, pois o Genesis permite ler vários tipos de formatos de ...cheiros que suportam representações tridimensionais de objectos, mas comporta pelo menos dois passos:

² conversão, com o auxílio do Caligari trueSpaceTM4 v4.3, dos vários objectos para o formato VRML;

² leitura pelo Genesis dos objectos em VRML e conversão dos mesmos para FhS.

Destas três ferramentas, as duas que parecem mais adequadas ao desenvolvimento deste protótipo são o MAVERIK 6.1 e o Virtual Design 2. De facto a versão do Virtual Design 2 utilizada neste trabalho, apesar de ser uma excelente ferramenta para implementar um

²O Genesis foi gentilmente cedido pelo Fraunhofer Institut für Graphische Datenverarbeitung

sistema de ambientes virtuais, coloca problemas a nível da portabilidade, pois apenas permite o desenvolvimento de um protótipo em ambiente em IRIX 6.x.

O MAVERIK é uma biblioteca de funções, em linguagem C/C++, que permitem recriar um cenário virtual e que suporta, tal como o Virtual Design 2, a utilização de diferentes dispositivos de entrada. A única grande vantagem do MAVERIK relativamente à versão do Virtual Design 2 utilizada neste trabalho reside no facto de a aplicação desenvolvida com o MAVERIK, se poder implementar para as plataformas Windows NT, Linux e IRIX 6.x.

Capítulo 7

Viagem Virtual por Bracara Augusta

Aquando a sua fundação, Bracara Augusta foi muito provavelmente organizada segundo um traçado ortogonal de ruas [Martins 90]. O cruzamento dessas ruas originou espaços que estruturam a cidade em quarteirões. Estes eram ocupados por casas particulares, por edifícios públicos e por espaços públicos, necessários ao bom funcionamento da mesma [Martins 00b].

Na verdade, não se sabe muito acerca dos edifícios e espaços da cidade inicial. No entanto, graças às escavações arqueológicas de Braga nos últimos vinte e seis anos, pode-se reconstituir, com alguma con...ança, parte das estruturas. As que se encontram mais estudadas são, efectivamente, as Termas Públicas do Alto da Cividade e a Casa das Carvalheiras. É por estas áreas que, seguidamente, se vai efectuar uma viagem virtual no espaço e no tempo.

7.1 As Termas Públicas

A reconstituição das Termas Públicas do Alto da Cividade, que se apresenta de seguida, baseia-se num primeiro projecto das termas do início do século II. Este edifício é composto

por compartimentos de banhos e áreas de serviço, bem como por uma palestra, que era um espaço dedicado, fundamentalmente, à prática de exercícios físicos [Martins 00c].

A Fig. 7.1 mostra a entrada para as termas, que era feita pelo lado sul através de um pequeno pórtico. Como se pode observar, as texturas utilizadas são extremamente simples e foram obtidas a partir da informação existente acerca dos materiais mais utilizados na época.



Figura 7.1: Entrada das Termas Públicas



Figura 7.2: Apoditório e Piscina de Água Fria

O pórtico dava acesso a um espaço amplo, que se designava por apoditório (ver Fig. 7.2)

e que servia, principalmente, de vestiário. Para além desta função, esta área adequava-se à prática de exercícios físicos no Inverno. O apoditério possuía, também, uma piscina de água fria, que, provavelmente, seria apenas utilizada no Verão.

De seguida, os utentes deste espaço podiam percorrer um conjunto de salas frias e quentes, onde era possível receber massagens, tomar banhos de vapor e mergulhar em piscinas. A sala de massagens está representada na Fig. 7.3 e a Fig. 7.4 ilustra o tepidário das termas, que era uma sala que possuía uma piscina onde a água era morna.



Figura 7.3: Sala de Massagens



Figura 7.4: Tepidário

Estas salas eram aquecidas de uma forma bastante engenhosa, a partir de câmaras de combustão, designadas de pré-furnios (ver Fig. 7.5), onde eram realizadas fogueiras que aqueciam a água destinada às banheiras. O ar quente circulava por baixo dos pavimentos das salas (ver Fig. 7.6), aquecendo os mesmos.



Figura 7.5: Pré-furnio



Figura 7.6: Circulação de Ar Quente

De facto, como se pode observar na Fig. 7.7, as Termas possuíam uma área de serviços bastante grande, onde se armazenava a lenha e a água, que eram imprescindíveis ao funcionamento deste edifício.



Figura 7.7: Área de Serviços

7.2 A Casa das Carvalheiras

A primeira fase construtiva desta habitação data dos ...nais do século I e foi construída em duas plataformas distintas, para vencer o declive acentuado do terreno, e com duas entradas distintas a norte e a sul [Martins 98a].



Figura 7.8: Entrada Sul da Casa das Carvalheiras

A entrada a Sul (ver Fig. 7.8) servia um espaço usado principalmente pelo proprietário da casa e que corresponderia, muito provavelmente, a uma área de negócios. Este espaço,

possuía um átrio aberto (ver Fig. 7.9) com um pequeno tanque ao centro, designado por impluvium, e com uma abertura no telhado, que também possibilitava a entrada de luz natural.



Figura 7.9: Átrio Aberto

A partir deste piso era possível aceder a umas escadas interiores que conduziam para um espaço ajardinado, situado a uma cota inferior, que se designava por peristilo (ver Fig. 7.10). Também se podia aceder a este espaço a partir de uma entrada que se encontra na fachada norte do edifício.



Figura 7.10: Peristilo

Era em torno deste peristilo que se desenvolvia o espaço habitacional, o qual era composto por uma sala de jantar (ver Fig 7.11), quartos de dormir, salas de recepção, cozinha e, também, um espaço que teria as funções de latrina.



Figura 7.11: Sala de Jantar

Geralmente as fachadas das casas romanas eram ocupadas por lojas ou oficinas. A Casa das Carvalheiras possuía também lojas, onde seriam vendidos vários produtos. A Fig. 7.12 mostra um espaço identificado nesta residência como sendo um termopólio, que era um lugar onde se vendia comida quente e bebidas.

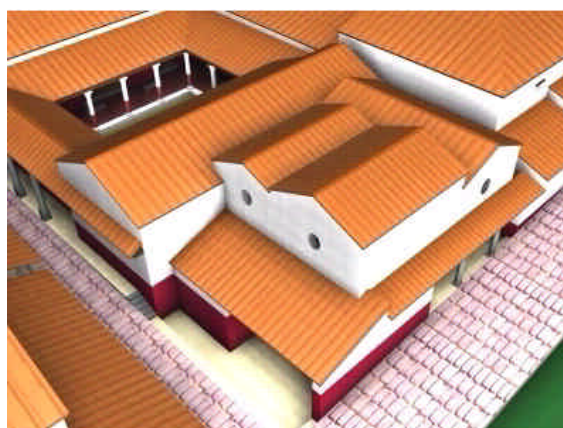


Figura 7.12: Termopólio das Carvalheiras

A Casa das Carvalheiras foi sofrendo, ao longo do tempo, várias modificações ou adaptações. Um exemplo desta evolução está patente na Fig. 7.13 e compreendeu a construção de um balneário no quadrante noroeste da habitação. Esta reforma foi efectuada em meados do século II.



a) Antes da Intervenção



b) Depois da Intervenção

Figura 7.13: Evolução do Espaço ao longo do Tempo

Este balneário era em tudo semelhante às Termas Públicas, pelo que possuía um apoditério que dava acesso a um frigidário. Do frigidário acedia-se ao tepidário e daí ao caldário, completando, desta forma, o circuito de banhos.

Capítulo 8

Conclusões e Trabalho Futuro

O passado a...gura-se como um elemento cada vez mais importante na nossa vida. Daí que a sua correcta representação no presente se torna crescentemente importante. No entanto, é importante ter sempre em mente que esta representação do passado não é o passado em si, mas apenas um modelo do passado que resulta dos dados disponíveis e da sua interpretação.

Sem qualquer tipo de dúvida, pode-se a...rmar que a Computação Grá...ca, o Multimédia e os Ambientes Virtuais possuem técnicas e metodologias fundamentais para a representação desse passado, contribuindo, efectivamente, para uma melhor conservação, preservação e interpretação do património cultural e, muito particularmente, do património arqueológico.

A representação de Bracara Augusta em Ambiente Virtual constitui um importante passo no projecto de Bracara Augusta, na medida em que, a partir de agora, os dados sobre as escavações são representados, sempre que possível, de uma forma tridimensional. Para além da tridimensionalidade do espaço, também a representação cronológica da evolução da ocupação espacial é feita a três dimensões.

A importância desta forma de representação da informação arqueológica reflecte-se, principalmente, a nível da divulgação dos resultados de escavação junto do público leigo. De facto, um público não-especialista entende muito melhor um determinado arqueosítio se

tiver a possibilidade de o ver reconstituído virtualmente. Por outro lado, desta forma, a informação arqueológica não será pertença única e exclusiva dos arqueólogos, contribuindo para uma maior e importante democratização do saber. Assim, torna-se mais fácil alertar a população em geral para a problemática da preservação e conservação do património arqueológico, incutindo nelas uma maior consciência para a herança cultural.

Mas, as vantagens são, também, imensas para o especialista que está a estudar um sítio arqueológico. A representação virtual de um determinado sítio arqueológico baseia-se, sempre, numa interpretação elaborada por uma equipa de especialistas (arqueólogos, arquitectos e historiadores). Essa representação é apenas um dos modelos interpretativos. Os dados existentes poderão dar aso ao aparecimento de outros modelos interpretativos, que nem por isso serão menos válidos, partindo do princípio que se baseiam em pressupostos verdadeiros. O facto de estas representações serem modelos geométricos tridimensionais, facilita a criação de outros modelos geométricos que representam diferentes modelos interpretativos.

Se é verdade que os modelos virtuais carecem de ser validados pelos especialistas, não é menos verdade que algumas interpretações de estruturas são corrigidas durante o processo de criação dos modelos virtuais. De facto, tradicionalmente as interpretações são representadas em suporte papel, ou seja, em desenhos bidimensionais. Ao transformar esta informação em modelos tridimensionais, pode acontecer que a equipa de investigação seja alertada para algumas inconsistências, que rapidamente são ultrapassadas.

Apesar de ser globalmente positivo representar o património arqueológico em ambiente virtual, isto não significa que este procedimento apresente apenas vantagens para a Arqueologia. As representações gráficas em suporte computacional são, por vezes, de tal forma realistas que rapidamente se confundem com a realidade. Este facto constitui um grande perigo para a arqueologia, e para todo o património cultural, na medida em que um público menos informado pode confundir a virtualidade com a realidade. Não é isso que é pretendido com a aplicação dos ambientes virtuais à Arqueologia.

Outro perigo que pode surgir com a aplicação dos Ambientes Virtuais ao património ar-

queológico é o facto de os responsáveis políticos se convencerem de que os modelos virtuais podem substituir a realidade e, por isso mesmo, abandonarem políticas de conservação e preservação do património. Os modelos virtuais não substituem a realidade e, portanto, não devem de servir de desculpa ao poder político para votar ao abandono o património arqueológico.

Apesar da Computação Gráfica e dos Ambientes Virtuais, quando aplicados ao património arqueológico, servirem a divulgação dos resultados da investigação arqueológica, é também necessário pensar em ferramentas que sejam úteis à prática arqueológica. Uma intervenção arqueológica é, de certo modo, comparável a uma intervenção cirúrgica, pelo que o seu planeamento tem de ser muito cuidadoso e, nos casos de salvamento, extremamente rápido. O ideal seria desenvolver técnicas de reconstituição do solo, de modo a que antes da intervenção arqueológica fosse possível localizar e visualizar estruturas que estão ainda enterradas. Desta forma, minimizava-se o risco de destruição de informação preciosa para a investigação arqueológica. Claro que tudo isto não depende apenas da computação gráfica, mas também dos dispositivos existentes para fazer um levantamento prévio daquilo que está debaixo do solo.

Uma escavação arqueológica é sempre uma destruição. Daí que é extremamente importante preparar correctamente um arqueólogo para o trabalho de escavação. Uma forma interessante de o fazer seria recorrendo aos Ambientes Virtuais. Para isto seria necessário reconstituir virtualmente um arqueosítio e simular as várias ferramentas que os arqueólogos utilizam durante uma escavação. Este sistema, poderia ser uma forma de treinar estudantes de Arqueologia para diferentes cenários que lhes poderiam acontecer durante a escavação, mostrando-lhes sempre qual a opção mais correcta a tomar e que envolve menos destruição. Naturalmente que este sistema não invalida a participação de estudantes de Arqueologia em escavações reais, mas poderia servir como primeiro treino, sensibilizando-os para as dificuldades de uma escavação.

Neste trabalho foi estabelecida uma metodologia para o processamento de informação geográfica, arquitectónica e arqueológica, necessária à reconstituição de um arqueosítio romano em ambiente urbano. Esta metodologia não só poderá ser aplicável a outros sítios

arqueológicos romanos, mas também a arqueosítios de outras eras. Naturalmente que se torna necessário avaliar, continuamente, as características de novas ferramentas, de modo a usar sempre as mais adequadas a cada uma das tarefas.

Este trabalho constituiu um importante passo para a divulgação dos resultados do projecto Bracara Augusta. No entanto, a utilização dos recursos informáticos neste projecto não deverá parar por aqui. Um dos passos seguintes será introduzir a informação do espólio, encontrado em cada intervenção, no modelo virtual e transformar, assim, o SIABRA num SIG 3D de Bracara Augusta.

Outra ideia importante e, de certeza, com algum interesse para o projecto de Bracara Augusta, seria o desenvolvimento de um Sistema de Tele-Arqueologia. Este sistema basear-se-ia na tecnologia do trabalho cooperativo e na tecnologia da realidade aumentada e permitiria às equipas de arqueólogos contactar com vários peritos para os ajudar em problemas decorrentes da escavação ou na identificação de estruturas ou espólio encontrados.

Bibliogra...a

- [Abouaf 99] Jeffrey Abouaf. The Florentine Pietà: Can Visualization Solve the 450-Year-Old Mystery? *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 19, no. 1, páginas 6–10, Janeiro-Fevereiro 1999.
- [Addison 00] Alonzo C. Addison. Emerging Trends in Virtual Heritage. *IEEE Multimedia*, vol. 7, no. 2, páginas 22–25, Abril-Junho 2000.
- [Agarwal 00] Pragya Agarwal. GIS in Cultural Resource Management in Historic Urban Centres. URL:www.gisdevelopment.net/application/plandev/cult.htm, 2000. Relatório Técnico.
- [Astheimer 99] Peter Astheimer & Lawrence Rosenblum. A Business View of Virtual Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 19, no. 6, páginas 28–29, Novembro-Dezembro 1999. Guest Editors' Introduction.
- [Aut 99] AutoCAD Land Development Desktop Release, 1999. User's Guide.
- [Barcelo 00] Juan A. Barcelo, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds. *British Archaeology Reports*. Archaeopress, Oxford, 2000.
- [Berndt 00] Erhard Berndt & José Carlos Teixeira. Cultural Heritage in the Mature Era of Computer Graphics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 20, no. 1, páginas 36–37, Janeiro-Fevereiro 2000.

- [Bernhardsen 92] Tor Bernhardsen. Geographic Information Systems. VIAK IT, Arendal, Norway, 1992.
- [Berta 99] Julien Berta. Integrating VR and CAD. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 19, no. 5, páginas 14–19, Setembro-Outubro 1999. Projects in VR.
- [Bimbo 00] Alberto Del Bimbo. Multimedia Computing and Systems. IEEE Multimedia, vol. 7, no. 1, páginas 18–21, Janeiro-Março 2000. Guest Editor's Introduction.
- [Brodlie 88] K. W. Brodlie. Standardisation in Computer Graphics: An Introduction to GKS. In C. L. Ruggles & S. P. Q. Rahtz, eds., BAR International Series 393, páginas 155–159. Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1987, 1988.
- [Brogni 00] A. Brogni, E. Bresciani, M. Bergamasco & F. Silvano. An Interactive System for the Presentatiosn of a Virtual Egyptian Flute in a Real Museum. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., BAR S843, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Brooks 99] Frederick P. Brooks. What's Real About Virtual Reality. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 19, no. 6, páginas 16–27, Novembro-Dezembro 1999.
- [Burrough 86] P.A. Burrough. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, New York, 1986.
- [Cal 98] CALIGARI trueSpace4, August 1998. User's Guide.
- [Coors 00] Volker Coors, Uwe Jasnoch & Karin Joeckle. A Virtual Visit to the Collegiate Church St. Peter and Alexander, Aschæenburg. In State of the Art and Future Trends 2000, páginas 15–19, Italia, 2000. High Performance Graphics Systems and Applications European Workshop.

- [Cornforth 92] J. Cornforth, C. Davidson, C.J. Dallas & G.R. Lock. Visualising Ancient Greece: Computer Graphics in the Sacred Way Project. In Gary Lock & Jonathan Moëtt, eds., BAR International Series S577, páginas 219–225. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1991, 1992.
- [Costa 00] Josep Gurri Costa & Esther Gurri Costa. The Baths of Baetulo: From Archaeological to Virtual Reality. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., BAR S843, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Dam 00] Andries Van Dam, Andrew S. Forsberg, David H. Laidlaw, Joseph J. LaViola Jr & Rosemary M. Simpson. Immersive VR for Scientific Visualization: A Progress Report. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 20, no. 6, páginas 26–52, Novembro-Dezembro 2000.
- [Date 90] C.L. Date. Introducción a Los Sistemas de Bases de Datos. Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, Delaware, EUA, 1990.
- [Ellis 94] Stephen R. Ellis. What Are Virtual Environments? IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 14, no. 1, páginas 17–22, Janeiro 1994.
- [Encarnação 83] J. Encarnação & E.G. Schlechtendahl. Computer Aided Design - Fundamentals and System Architectures. Springer Verlag, Berlin, 1983.
- [Encarnação 94] José Encarnação, Martin Göbel & Lawrence Rosenblum. European Activities in Virtual Reality. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 14, no. 1, páginas 66–74, Janeiro 1994.
- [Encarnação 95] J.L. Encarnação, P. Astheimer, F. Dai, W. Felger, M. Göbel, H. Haase, S. Müller & R. Ziegler. Virtual Reality Technology - Enabling New Dimensions in Computer-Supported Applications. In Proceedings of DMMI (Design to Manufacture in Modern Industry), Eslovénia, 1995. Part 1.

- [Encarnação 00] L. Miguel Encarnação, Robert J. Barton III, Oliver Bimber & Dieter Schmalstieg. Walk-Up VR: Virtual Reality Beyond Projection Screens. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 20, no. 6, páginas 19–23, Novembro-Dezembro 2000.
- [Feiner 00] Steven Feiner & Daniel Thalmann. Virtual Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 20, no. 6, páginas 24–25, Novembro-Dezembro 2000.
- [Foley 90] James D. Foley, Andries Van Dam, Steven K. Feiner & John F. Hughes. *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison-Wesley Publishing Company, USA, second edition, 1990.
- [Forte 00a] Maurizio Forte. About Virtual Archaeology: Disorders, Cognitive Interactions and Virtuality. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., *BAR S843*, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Forte 00b] Maurizio Forte & Davide Borra. The Estense Castle of Ferrara (Italy): Multimedia Project and Virtual Reconstruction. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., *BAR S843*, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Fuhrman 98] Anton Fuhrman, Helwig Löselmann, Dieter Schmalstieg & Michael Gervautz. Collaborative Visualization in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 18, no. 4, páginas 54–59, Julho-Agosto 1998.
- [Giestal 98] Carlos Dantas Giestal. *Sistema de Informação Geográfica Para a Arqueologia Urbana: O Caso de Bracara Augusta*. Universidade do Minho, Braga, 1998. Tese de Mestrado policopiada.
- [Gourad 98] Khalid Gourad. *Geographic Information Systems in Archaeology: A Survey*. URL: research.hunter.cuny.edu/arch/master.html, 1998.

- [Grimes 91] Jack Grimes & Mike Potel. What is Multimedia? IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 11, no. 1, páginas 49–52, Janeiro 1991.
- [Hartman 96] Jed Hartman & Josie Wernecke. The VRML 2.0 Handbook. Addison-Wesley Developers Press, 1996.
- [Hildebrand 00] Axel Hildebrand, Patrick Dähne, Frank Seibert, Ioannis T. Christou, Athanassios Demiridis, Markellos Diorinos, Nikos Ioannidis, Luis Almeida, António Diogo & Jens Weidenhausen. Archeoguide: An Augmented Reality Based System for Personalized Tours in Cultural Heritage Sites. In Proceedings of the International Conference on Augmented, Virtual Environments and 3D Imaging, Grécia, 30 de Maio - 1 de Junho 2000.
- [Hubbold 01] Roger Hubbold, Martin Keates, Simon Gibson, Alan Murta, Steve Petifer & Adrian West. MAVERIK - Programmer's Guide. Advanced Interfaces Group, Department of Computer Science, University of Manchester, 2001.
- [Jakobs 95] Kai Jakobs & Klaus Kleefeld. Multimedia Communication in Archaeology - Why and How. In Jeremy Huggett & Nick Ryan, eds., BAR International Series 600, páginas 43–53, Glasgow, 1995. Computer Applications and Quantative Methods in Archaeology 1994.
- [Kasik 00] David J. Kasik. Viewing the Future of CAD. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 20, no. 1, páginas 34–35, Janeiro-Fevereiro 2000.
- [Larijani 94] L. Casey Larijani. Realidad Virtual. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A, Madrid, España, 1994.
- [Lemos 93] Francisco Sande Lemos. O Povoamento Romano de Trás-Os-Montes. Universidade do Minho, Braga, 1993. Tese de Doutoramento.
- [Lock 92] Gary Lock & Trevor Harris. Visualizing Spatial Data: The Importance of Geographic Information Systems. In Paul Reilly & Sebastian

- Rahtz, eds., *Archaeology and the Information Age: A Global Perspective*, Capítulo 9, páginas 81–96. Routledge, London, 1992.
- [Machover 94] Carl Machover & Steve E. Rice. *Virtual Reality*. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 14, no. 1, páginas 15–16, Janeiro 1994.
- [Mäntylä 88] Martti Mäntylä. *An Introduction to Solid Modeling*. Computer Science Press, USA, 1988.
- [Martins 90] Manuela Martins. *História e Arqueologia de Uma Cidade Romana: Bracara Augusta*. Cadernos de Arqueologia, vol. 6-7, páginas 11–38, 1990.
- [Martins 92] Manuela Martins. *Bracara Augusta: A Memória de Uma Cidade*. Cadernos de Arqueologia, vol. 8-9, páginas 177–197, 1992.
- [Martins 98a] Manuela Martins. *A Zona Arqueológica Das Carvalheiras. Balanço Das Escavações e Interpretação Do Conjunto*. Cadernos de Arqueologia, vol. 14-15, páginas 23–45, 1998.
- [Martins 98b] Manuela Martins & Francisco Sande Lemos. *Duas Décadas de Vida de Um Projecto: O Salvamento de Bracara Augusta*. Cadernos de Arqueologia, vol. 14-15, páginas 9–21, 1998.
- [Martins 00a] Manuela Martins. *A Arqueologia Em Busca Da Cidade*, 2000.
- [Martins 00b] Manuela Martins. *Bracara Augusta Cidade Romana*. Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho, Braga, Dezembro 2000.
- [Martins 00c] Manuela Martins. *Roteiros Arqueológicos Bracara Augusta, volume 1*. Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2000. Termas romanas do Alto da Cividade.
- [Martins 00d] Manuela Martins. *Roteiros Arqueológicos Bracara Augusta, volume 2*. Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2000. A casa romana das Carvalheiras.

- [Martins 00e] Manuela Martins & Paulo Bernardes. A Multi-Disciplinary Approach for Research and Presentation of Bracara Augusta's Archaeological Heritage. *Archeologia e Calcolatori*, vol. 11, páginas 347–357, 2000.
- [Mathur 97] Shesh Mathur. Three-Dimensional Representation of Archaeological Data in American Archaeology. *Archaeology on the Net*, Fevereiro 1997.
- [Moscatti 99] Paola Moscatti. GIS and Archaeology: The "Caere" Survey. In Juan A. Barceló, Ivan Briz & Assumpció Vila, eds., *BAR International Series 757*, páginas 103–105, Oxford, England, 1999. CAA 98, Archaeopress.
- [Nicola 00] R. De Nicola, A. Giordano & S. Guarino. Ray-Tracing Techniques in a Parallel Environment: The Case Study of a Horse Grave. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., *BAR S843*, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Ofek 97] E. Ofek, E. Shilat, A. Rappoport & M Werman. Multiresolution Textures from Image Sequences. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 17, no. 2, páginas 18–29, 1997.
- [Olson 96] Nancy A. Olson. *MicroStation 95 Fundamentals*. New Riders Publishing, Indianapolis, Indiana, USA, 1996.
- [Ottaway 92] Patrick Ottaway. *Archaeology in British Towns - From the Emperor Claudius to the Black Death*. Routledge, London, 1992.
- [Packer 99] Randall Packer. Just What Is Multimedia, Anyway? *IEEE Multimedia*, vol. 6, no. 1, páginas 11–13, Janeiro-Março 1999.
- [Papaioannou 01] Georgios Papaioannou, Evaggelia-Aggeliki Karabassi & Theoharis Theoharis. Virtual Archaeologist: Assembling the Past. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 21, no. 2, páginas 53–59, Março-Abril 2001.

- [Peterson 95] Philip Peterson, F. David Fracchia & Brian Hayden. Integrating Spatial Data Display with Virtual Reconstruction. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 15, no. 4, páginas 40–46, Julho 1995.
- [Pollefeys 00] M. Pollefeys, M. Proesmans, R. Koch, M. Vergauwen & L. Van Gool. Acquisition of Detailed Models for Virtual Reality. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., *BAR S843*, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Praja 00] Ramesh Jain Praja. Real Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 20, no. 1, páginas 40–41, Janeiro-Fevereiro 2000.
- [Refsland 00] Scot Thrane Refsland, Takeo Ojika, Alonzo C. Addison & Robert Stone. Virtual Heritage: Breathing New Life Into Our Ancient Past. *IEEE Multimedia*, vol. 7, no. 2, páginas 20–21, Abril-Junho 2000.
- [Reilly 88] Paul Reilly & Julian Richards. New Perspectives on Sutton Hoo: The Potential of 3-D Graphics. In C. L. Ruggles & S. P. Q. Rahtz, eds., *BAR International Series 393*, páginas 173–185. *Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1987, 1988*.
- [Reilly 92] Paul Reilly & Sebastian Rahtz. Introduction: Archaeology and the Information Age. In Paul Reilly & Sebastian Rahtz, eds., *Archaeology and the Information Age: A Global Perspective*, Capítulo 1, páginas 1–28. Routledge, London, 1992.
- [Rheingold 91] Howard Rheingold. *Virtual Reality*. Mandarin Paperbacks, Great Britain, 1991.
- [Ribarsky 94] William Ribarsky, Jay Bolter, Augusto Op Den Bosch & Ron Van Teylingen. Visualization and Analysis Using Virtual Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 14, no. 1, páginas 10–12, Janeiro 1994.

- [Roberts 97] Jonathan C. Roberts & Nick Ryan. Alternative Archaeological Representations Within Virtual Worlds. URL: www.cs.ukc.ac.uk/people/staff/nsr/arch/vrsig97/vrsig.html, 1997. Computing Laboratory, University of Kent, Canterbury, Kent, UK.
- [Rosenblum 98] Lawrence Rosenblum, Griogore Burdea & Susumu Tachi. VR Reborn. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 18, no. 6, páginas 21–23, Novembro-Dezembro 1998.
- [Rosenblum 00] Lawrence Rosenblum. Virtual and Augmented Reality 2020. *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 20, no. 1, páginas 38–39, Janeiro-Fevereiro 2000.
- [Silva 94] António Carlos Silva. Arqueologia Urbana Em Portugal - Enquadramento Jurídico e Suporte Financeiro. *Bracara Augusta*, vol. XLV, no. 97(110), páginas 43–55, 1994.
- [Sims 97] Dave Sims. Archaeological Models: Pretty Pictures or Research Tools? *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 17, no. 1, páginas 13–15, Janeiro-Fevereiro 1997.
- [Spicer 88] Dick Spicer. Computer Graphics and the Perception of Archaeological Information: Lies, Damned Statistics And... Graphics! In C. L. Ruggles & S. P. Q. Rahtz, eds., *BAR International Series 393*, páginas 187–200. *Computer and Quantitative Methods in Archaeology 1987*, 1988.
- [Steckner 00] Cornelius Steckner. Form and Fabric, the Real and the Virtual - Roman Economy-Related Geometrical Mass Constrains in Dressel's Table of Amphora Forms. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., *BAR S843*, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Teixeira 97] José Carlos Teixeira, Artur Côte-Real, Paulo Bernardes & Francisco Pato de Macedo. Santa Clara-a-Velha: Virtual Environments and

- Cultural Heritage. In Proceedings of The Fifth International Conference on CAD and Graphics, China, 1997.
- [Uotila 00] K. Uotila & M. Sartes. Medieval Turku - The Lost City. A Project Trying to Reconstruct a Medieval Town in Finland. In Juan A. Barceló, Maurizio Forte & Donald H. Sanders, eds., BAR S843, Oxford, 2000. Archaeopress.
- [Vote 00] Eileen L. Vote, Daniel Acevedo, David Laidlaw & Martha Sharp Joukowsky. ARCHAVE: A Virtual Environment for Archaeological Research. In BAR International Series, Ljubljana, Slovenia, Abril 2000. CAA 2000: Computing Archaeology for Understanding the Past, Archaeopress.
- [VRCOM 99] VRCOM. Documentation Virtual Design, 1999. User Guide.
- [Zheng 99] Jiang Yu Zheng & Zhong Li Zhang. Virtual Recovery of Excavated Relics. IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 19, no. 3, páginas 6–11, Maio-Junho 1999.
- [Zheng 00] Jiang Yu Zheng. Virtual Recovery and Exhibition of Heritage. IEEE Multimedia, vol. 7, no. 2, páginas 31–34, Abril-Junho 2000.